

Marko Reijonen

Turun telakan runkotuotannon kutistumakerrointen päivitysprosessi

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (ylempi AMK)
Rakentamisen koulutusohjelma,
maanmittauksen suuntautuminen
Opinnäytetyö
10.5.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Marko Reijonen Turun telakan runkotuotannon kutistumakerrointen päivitys-prosessi 48 sivua + 12 liitettä 10.5.2013
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	rakentaminen
Suuntautumisvaihtoehto	maanmittaus
Ohjaajat	yliopettaja Vesa Rope projektin runkopäällikkö Jari Kuusilehto
<p>Laivan rungon rakennusprosessi alkaa osien polttamisella levy- ja profiilimateriaalista. Osista kootaan osakoonteja, osalohkoja, lohkoja, suurlohkoja ja lopulta niistä muodostuu laivan runko. Yhteenliittäminen tapahtuu hitsaamalla. Hitsaus ja rakenteiden liekkioikaisu aiheuttavat merkittäviä kutistumia. Turun telakan runkotuotannossa näitä kutistumien aiheuttamia mittojen lyhenemisiä kompensoidaan suunnitteluvaiheessa käyttämällä kutistumakompensaatiotaulukoita. Kertoimet ovat kokemuseräistä tietoa eri valmistusvaiheiden aiheuttamista kutistumista.</p> <p>Kutistumien seurantamittauksia tehtiin Turun telakalla 1980-luvulta alkaen aina 2000-luvun alkuun saakka, jonka jälkeen yksittäisten valmistuspisteiden kertoimia on tarkastettu erillisissä projekteissa. Toisinaan on noussut esille, että nykyisin käytössä olevat kertoimet eivät olisi oikein tai etteivät ne anna oikeita kompensatioarvoja. Lisäksi osalla valmistuslinjoista on tapahtunut muutoksia esimerkiksi hitsausmenetelmän suhteen, jolla voi olla vaikutusta kutistuma-arvoihin.</p> <p>Näitä muutoksia ja kertoimien suuruuksia voidaan tarkastaa vain aloittamalla kutistumamittaukset uudestaan. Asia on tärkeä, sillä osa mittauksia aikanaan suorittaneista työntekijöistä on jo jäänyt eläkkeelle. Nyt on tärkeää selvittää vielä telakalla oleva osaaminen ja kerätä se talteen.</p> <p>Alkuvuonna 2012 tehtiin lyhyt projekti, jolla kerättiin kokemusta ja ideoita myöhemmin tehtävää laajempaa mittausprojektia varten. Tutkimuskohteiksi valittiin kolme laivalohkon perusosia tuottavaa linjaa; t-palkkilinja, laita- ja laipiolinja sekä kansipaneelilinja. Tutkimuksen tarkoituksena oli hakea ratkaisuja resursoinnin, mittautavan ja mittautusten ajoittamisen kannalta. Yhtenä tavoitteena oli myös koostaa työohje tutkimuksessa havaituista kutistumamittausten suunnitteluun ja suorittamiseen liittyvistä asioista.</p>	
Avainsanat	hitsaus, kutistuma, mittatarkkuus, mittaus, suunnittelu

Author Title	Marko Reijonen Updating Process of Shrinkage Factors in Turku Shipyard
Number of Pages Date	48 pages + 12 appendices 10 May 2013
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Land Surveying
Instructors	Vesa Rope, Principal Lecturer Jari Kuusilehto, Project Hull Manager
<p>The ship hull building process begins with part prefabrication, where parts are cut from plate and profile materials. The parts are assembled to subassemblies, deck plates, sub blocks, blocks, grand blocks, and finally to ship's hull. The assembling is made by welding. Welding and flame straightening cause significant shrinkages to structures. In Turku shipyard Hull Production these shrinkages are compensated during the design phase by using tables which contain shrinkage compensation factors. These factors are the empirical data from shrinkages of different production phases.</p> <p>Continuous shrinkage monitoring measurements were carried out at the Turku shipyard from the 1980's to the early years of the 21th century when the measurements were discontinued. After this, few individual factors are measured in separate projects. Sometimes it is said that the current shrinkage compensating factors are not correct compensation values. In addition, part of the manufacturing lines have been modified by the welding process, which may affect the shrinkage values.</p> <p>These changes and sizes of shrinkage factors can be studied only by starting the measurements again. The matter is important because part of the workers who earlier dealt with the measurements are already retired. That is why it is important to gather the information which still exists.</p> <p>Early in the year 2012 there was a short project, the aim of which was to give experience and ideas for extensive measurement projects to be performed later. The study targets were three production lines: T-bar line, side shell and bulkhead line and deck plate line. The purpose of the study was to seek solutions to resourcing, measurement methods and timing of measurements. The target was also to make work instructions which could help in planning and execution of shrinkage measurements.</p>	
Keywords	welding, shrinkage, dimensional accuracy, measuring, design

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1 Johdanto	1
1.1 Yleistä	1
1.2 STX Finland Oy	3
2 Kutistumien kompensointi	6
2.1 Rakenteiden kutistuminen	6
2.2 Kutistumien kompensointikeinoja	9
2.2.1 Kutistumakertoimet	10
2.2.2 Affiinin kasvatuserroin	12
2.2.3 Ylimitat ja työvarat	12
3 Kutistumakompensaatioaineiston kerääminen Turun telakalla	14
3.1 Tilastollisesti luotettavan aineiston koko	15
3.2 Mittausaineiston keräämisen laajuus	16
3.2.1 Projektiluonteinen kutistuma-aineiston kerääminen	16
3.2.2 Jatkuvasti tapahtuva kutistuma-aineiston kerääminen	17
3.3 Resursointi	18
3.3.1 Omana työnä suoritettavat mittaukset ja aineiston kerääminen	18
3.3.2 Alihankintana suoritettavat mittaukset ja aineiston kerääminen	19
3.3.3 Työpestekohtainen ja toimenkuvallinen resursointi	19
3.4 Mittausasiat	20
3.4.1 Nimetty henkilö	20
3.4.2 Mittavälineet	20
3.4.2.1 Mittavälineen valinta	21
3.4.2.2 Mittavälineen käyttö	21
3.4.2.3 Kalibroinnit	21
3.4.2.4 Epävarmuuden arviointi	22
3.4.3 Mittaustapa	22
3.4.3.1 Mittaukset kansipaneeleille	23

3.4.3.2 Mittaukset t-palkeille sekä laidoille ja laipioille	25
3.5 Mittausten dokumentointi	27
3.5.1 Materiaalipaksuudet	27
3.5.2 Hitsityyppi	27
3.5.3 Hitsausmenetelmä	29
3.5.4 Rakenteen vaihtelevat ominaisuudet	30
3.5.4.1 Aineenvahvuuksien suuret vaihtelut	30
3.5.4.2 Aukot	31
3.5.4.3 Muut rakenteiden muuttuvat ominaisuudet	32
3.6 Tutkimukseen liittyvät mittaukset Turun telakan runkotuotannossa	33
3.6.1 Ajoitus	33
3.6.2 Resursointi	34
3.6.3 Mittavien rakennetyyppien valinta	35
4 Tulosten käsittely	37
4.1 Virheellisten ja puutteellisten havaintojen poistaminen	37
4.2 Luokittelu	38
5 Havaintoja tehdyn tutkimuksen perusteella	39
5.1 Mittaajan tekemät havainnot	39
5.1.1 Kansilakanoiden kutistumien mittaus 5-linjalla	39
5.1.2 T-palkkien mittaus	40
5.1.3 Laitojen ja laipoiden mittaus 11-hallissa	41
5.2 Pohdintaa	41
6 Yhteenveto	43
Lähteet	46
Liitteet	
Liite 1. Ylimitan merkinnät työkuvassa	
Liite 2. Esimerkki laivaprojektissa käytettävistä ylитоista	
Liite 3. Esimerkki laivaprojektissa käytettävistä kutistumakerrointaulukkoista	
Liite 4. Turun telakan kansipaneelilinjan (5-linja) layout	
Liite 5. Esimerkki kansipaneelin polttokartasta	

- Liite 6. Esimerkki palkitetun kansipaneelin työkuvasta
- Liite 7. Esimerkki palkitetun kansipaneelin työkuvasta
- Liite 8. Kaikki kansipaneelien mittaustulokset
- Liite 9. Jatkokäsitellyt kansipaneelien mittaustulokset
- Liite 10. Esimerkki lohkovalmistuksen ohjelmasta
- Liite 11. Kaikki t-palkkien mittaustulokset
- Liite 12. Työohje-ehdotus kutistumamittausten suunnittelusta ja suorittamisesta

Lyhenteet ja käsitteet

5-linja	Kansipaneelien valmistuslinja (ks. liite 4)
A-mitta	Suunnittelijan määrittämä ideaalisen tasakylkisen pienahitsin korkeus.
Affiininen mitta	Rihtauskutistumien kompensointimitta
Aineenvahvuus / aineenpaksuus	Levyn tai muun materiaalin paksuus
Bulbi	Jäykistepalkki, jota kutsutaan myös palkoprofiiliksi, muototangoksi tai –raudaksi.
CL	Center line eli keskilaiva on laivan pituussuuntaisen keskikohdan paikka.
DNV	Det Norske Veritas on norjalainen riippumaton säätiö, jonka toimintaan kuuluu esimerkiksi laivojen luokitus.
Hitsi	Hitsaamalla tapahtuvan kappaleiden yhteenliittämisen tulos.
Hitsipalko	Hitsiaine, joka muodostuu yhdellä kerralla työkalualla päästä päähän hitsattaessa.
IACS	International Association of Classification Societies on 13 kansainvälisen laivanluokitusseuran kattojärjestö.
InterShip	Eurooppalaisten telakoiden kilpailukykyyn ja laadun parannuksen kehitysprojekti.
Jatkuva hitsaus	Hitsiliitos, joka on yhtenäinen.
Jäykkääjä	Jäykistävä rakenne (ks. t-palkki)
Jäännösjännitys	Metallikappaleessa oleva jännitys, joka vapautuu esimerkiksi polttoleikkauksessa. Se aiheuttaa muun muassa tasomaisuuspoikkeamia.
Kaari	Laivan leveyssuunnassa kulkeva jäykisterakenne.
Kansi	Laivan lattia
Kansipaneeli	Jäykistetty kannen levyosa
Katkohitsaus	Hitsi, joka muodostuu osahitseistä.
Keskilaiva	Katso CL
Laipio	Laivan pituus- ja poikittaissuuntainen sisäseinä.
Laippa	T-palkin osa, joka kiinnitettynä uumalevyyn
Lakana	Jäykistämätön levyosa

Latta	Jäykiste, jota kutsutaan myös lattatangoksi. Valmistetaan joko valssaamalla tai levystä leikkaamalla.
LNG	Liquefied natural gas eli nesteytetty maakaasu
Lohko	Laivanrakennuksen yksikerroksinen yksikkö, jossa laidat, laipiot, kansipaneeli ja jäykistävät rakenteet. Kooltaan noin 20 x 20 x 3 m.
Longi	Laivan pituussuunnassa oleva jäykisterakenne. Kutsutaan myös bulbiksi (ks. bulbi) .
Longijako	Kahden peräkkäisen longin välinen mitta, joka on yleensä vakio koko laivassa.
Lämmöntuonti	Metallirakenteeseen työstövaiheessa siirtyvä lämpö.
Nestaus / nestaaminen	Polttoleikattavien osien levyille sijoittelun, kannakoinnin ja polttojärjestyksen suunnitteleminen.
Palko	Katso hitsipalko.
QA	QA = Quality assurance = Laadun varmistus
Rihtaus	Kaasupolttimella tehtävä rakenteiden kuuminus, jonka avulla kutistetaan ja kiristetään. Käytetään toisinaan myös nimitystä liekkioikaisu tai kuumilla oikominen.
RKY	Rungonkoonnin ylimitta
Sarjalaiva	Laiva, joka on rakenteeltaan samanlainen (tai lähes samanlainen) kuin aiemmin tehty laiva ja jonka koonnissa voidaan hyödyntää osaamista, joka on saatu aikaisemman kokemuksen perusteella.
SLY	Suurlohkon koonnin ylimitta
SL-koonti	Suurlohkon koonti
Suurlohko / SL	Useammasta lohkoista koottu yksikkö. Kerroksia voi olla kahdesta viiteen kpl.
T-palkki	Kansilevyä jäykistävä rakenne
Teoriamitta	Rakenteen suunniteltu pituus
Uuma / uumalevy	T-palkin osa, johon laippa kiinnitetään.
Viiste	Hitsattavan kappaleen reunaan esim. polttoleikkaamalla tehty muotoilu.
Web	Pituus- tai leveyssuunnassa kulkeva jäykisterakenne.

1 Johdanto

1.1 Yleistä

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia laivanrakennusprosessin (kuva 1) osa- ja lohkonkoontivaiheissa aiheutuvien hitsauskutistumien mittausprosessia. Työtä oli tarkoitus lähestyä kutistumamittausten suunnittelemisen, suorittamisen sekä tulosten laskennan ja työn resursoinnin näkökulmasta. Tutkimuksen tavoitteena oli tehdä havaintoja, joiden perusteella kutistumien mittausten kannalta oleelliset asiat jalostuisivat työohjeeksi. Näin ollen kutistumaseurantaa voitaisiin jatkossa suorittaa niin, että kutistumakompensointiin käytettyjä taulukoita voidaan kehittää ja tarkentaa vastaamaan paremmin nykyistä valmistusprosessia.



Kuva 1. Laivanrakennusprosessin päävaiheet

Lohko- ja suurlohkovaiheen päätteeksi tehtävien kutistumamittausten suorittaminen olisi myös ollut tärkeä osa kokonaiskutistumien selvittämisen kannalta. Johtuen suuremmasta työmäärästä sekä pidemmästä projektin kestoajasta ne rajattiin tämän työn ulkopuolelle.

Metallisten kappaleiden työstäminen lämpöä tuovilla menetelmillä aiheuttaa niihin kutistumia, muodonmuutoksia ja jäännösjännityksiä. Telakkateollisuudessa merkittävimmät lämmöntuontia aiheuttavat työstömenetelmät ovat eri valmistusvaiheissa tehtävät hitsaus- ja rihtaustyöt. Mitä kookkaampia ja monimutkaisempia nämä rakenteet ovat, sitä suurempia vaikutuksia näillä työvaiheilla on kappaleiden mittatarkkuuksiin.

Yksi merkittävä osa prosessin hallintaa on tuntea eri työvaiheiden aiheuttamat keskimääräiset kutistumat eri materiaalilaatuja ja niiden paksuuksia kohti. Turun telakalla näiden kutistumien rakenteisiin aiheuttamia mittapoikkeamia korjataan työvaihekohtaisilla kutistumakompensaatiotaulukoilla, joiden arvot ovat pitkäaikaiseen kokemukseen perustuvaa tietoa eri vaiheiden rakenteisiin aiheuttamista suhteellisista mittamuutoksista.

Tutkimuskohteiksi valittiin osa- ja lohkonkoontivaiheesta kolme laivan perusosia tuottavaa valmistuslinjaa; t-palkin-, laidan- ja laipionkoonti sekä kansipaneelilinja (kuvat 2–4). Nämä valmistuslinjat ovat sellaisia, joissa valmistuu lohkonkoonnin kannalta oleelliset perusosat. Lisäksi näitä rakenteita hitsataan varsin paljon koonnin yhteydessä, joten niissä kutistumien vaikutus tulee selvästi esille.



Kuva 2. Hitsattu t-palkki



Kuva 3. Laipio, jossa jäykistäjät hitsattu



Kuva 4. Palkitettu kansipaneeli palkitusportaalilla

Tutkimuksen pääpaino kohdistettiin erityisesti kansipaneeleille, koska koko lohkonkoonti lähtee liikkeelle niiden tekemisestä. Tästä syystä niiden mittatarkka rakentaminen on ehdottoman tärkeää. Toinen merkittävä tekijä on se, että kansipaneeleihin kohdistuu hitsauksia palkkien lisäksi myös edellisessä vaiheessa koottujen t-palkkien, laitojen ja laipioiden kiinnittämisen takia. Kolmas tärkeä syy on se, että niistä saatavan mittausaineiston kokoaminen on hitainta johtuen vähäisestä määrästä paneeleita, joita yhden työvuoron aikana valmistuu linjalta. Näiden syiden pohjalta projektin tavoitteena oli mitata kaikki mittausprojektin aikana valmistuvat kansipaneelit.

1.2 STX Finland Oy

STX Finland Oy on osa eurooppalaista laivanrakennuskonsernia, STX Europea, jonka tuotevalikoimaan kuuluvat risteilylaivat, lautat, arktiset-, offshore-, huolto- sekä muut erikoisalukset. STX Europe on osa korealaista monialayritys STX:ää. Sen toimialueita ovat merenkulku, laivanrakennus, moottorit, voimalaitokset ja energiantuotanto. (STX Europe)

STX Finland Oy:llä on Suomessa kolme telakkaa. Rauman ja Turun (kuva 5) telakat sekä 50 %:n omistusosuus Arctech Oy:n Helsingin telakasta. Kahdella ensiksi mainituilla on omaa lohkotuotantoa ja niiden tuotekonseptiin kuuluvat erikois- ja risteilyalukset, lautat sekä offshore-rakenteet. Helsingin telakka toimii kokoonpanotelakkana, jonka tuotevalikoimaan ovat kuuluneet autolautat, erikoisalukset sekä jäänmurtaajat. Työntekijöitä STX Finland Oy:ssä ja sen tytäryhtiöissä on noin 2500. (STX Europe)



Kuva 5. STX Finland Oy:n Turun telakka sekä Allure of The Seas (vas.) ja Oasis of The Seas

Viimeisimmät Turussa rakennetut laivat ovat amerikkalaiselle RCCL-varustamolle vuosina 2009 ja 2010 luovutetut maailman suurimmat risteilylaivat, Oasis of The Seas ja Allure of The Seas (kuva 5). Viking Line Abp:lle luovutettiin tammikuussa 2013 Turun ja Tukholman väliseen liikenteeseen uusi LNG:tä polttoaineenaan käyttävä Viking Grace -matkustaja-alus (kuva 6).



Kuva 6. Viking Line Abp:lle tammikuussa 2013 luovutettu Viking Grace -matkustaja-alus

Tällä hetkellä Turun telakalla on tekeillä saksalaiselle TUI AG:lle vuonna 2014 luovutettava Mein Schiff 1-risteilyalus (kuva 7) sekä kaksi suurta (yhteensä noin 5000 t painavat) Norjaan toimitettavaa offshore-moduulia. Vuonna 2013 alkaa myös TUI AG:lle vuonna 2015 luovutettavan Mein Schiff 2:n rakentaminen. (STX Finland 2011a, 2011b)



Kuva 7. TUI AG:lle rakennettava Mein Schiff 1-risteilyalus

Suomen telakat ovat italialaisen Fincantierin, saksalaisen Meyer Werftin sekä ranskalaisen STX Francen kanssa mukana kovassa kilpailussa risteilyalusmarkkinoilla, jonne myös japanilaiset, korealaiset sekä kiinalaiset telakat haluavat päästä. STX Finland Oy:n Turun telakka sai karvaasti kokea tämän kilpailun kovuuden, kun amerikkalaiselle RCCL-varustamolle Turussa rakennettavaksi aiotut Oasis 3- ja 4 -laivat päätyivät STX:n Ranskan telakalle rakennettavaksi. Tästä syystä säilyttääkseen kilpailukykynsä ja varmistaakseen asemansa kireillä risteilyalusmarkkinoilla on Suomen telakoiden kehitettävä toimintaansa. (Ranska voitti 2012)

Mittatarkkuus kytkeytyy vahvasti telakoiden laatuun, tuottavuuteen ja kilpailukykyyn. Mittatarkkuuden ongelmat – muoto- ja mittavirheet – tulevat kalliiksi johtuen korjauksen vaatimista materiaali-, työ- ja henkilökustannuksista. Mitä myöhäisemmässä vaiheessa virhe korjataan, sitä hankalampaa ja kalliimpaa se yleensä on. Jotta mittatarkkuutta voidaan parantaa, on tiedettävä eri valmistusvaiheiden ominaisuuksien vaikutukset ja erityispiirteet, joiden avulla suunnittelua ja tuotantoa voidaan ohjata.

2 Kutistumien kompensointi

2.1 Rakenteiden kutistuminen

Erilaisten metallisten kappaleiden ja rakenteiden työstäminen menetelmillä, joissa niihin kohdistuu myötörajan ylittäviä lämpötiloja, aiheuttavat jäännösjännitysten vapautumisia, muodonmuutoksia ja kutistumia. Rakenteeseen työstövaiheessa johtuvaa lämpötilaa kutsutaan lämmöntuonniksi. Näitä lämpöä tuovia menetelmiä ovat mm. valu, valssaus, hitsaus, polttoleikkaus ja rihtaus. Ilmiön kannalta merkittävimmät lämmöntuontia aiheuttavat työmenetelmät telakkateollisuudessa ovat hitsaus ja rihtaus. Näiden vaikutusten kompensointiin, laivojen suunnittelua ja rakentamista varten on laadittu projektikohtaiset kutistumien kompensointitaulukot, jotka ovat yhtenä keinona jo suunnitteluvaiheessa, joilla vähennetään kutistumien vaikutusta. Tässä työssä on keskitytty vain kutistumakerroinaineiston keräämisprosessin hallintaan. (Pettinen 2006: 259.)

Lämmöntuonnille altistuvat kappaleet kutistuvat kaikissa kolmessa suunnassa: pituus-, leveys- ja paksuussuunnassa. Pitkittäisissä kappaleissa, kuten palkeissa ja profiiliosissa, kutistuma on merkityksellinen vain pituussuunnassa. Kansipaneelirakenteissa kutistumilla on vaikutusta pituus- ja leveyssuunnassa. Paksuussuunnan kutistumisen osuus ei yleensä ole merkityksellinen yksittäisen rakenteen mittojen sekä myöhempien vaiheiden mittatarkkuuden kannalta. Kolmiulotteisissa kappaleissa, kuten lohkoissa, suurlohkoissa ja laivan rungossa, korkeussuunnan kutistumilla on kuitenkin huomattava merkitys, mutta tässä yhteydessä se ei ole enää paksuussuunnan kutistumaa.

Hitsauksen muodonmuutosten ja kutistumien suuruus riippuu kaiken kaikkiaan jopa 20 eri muodonmuutosparametrista, mutta muodonmuutoksia ennustettaessa on keskityttävä olennaisimpiin vaikuttaviin tekijöihin. Tärkeimmät vaikuttavat parametrit ovat hitsausolosuhteet, materiaalit, ainepaksuudet, hitsausarvot, hitsausjärjestykset, työlämpötilat sekä hitsiin hitsattujen palkojen lukumäärät. (Karppi 1979: 6; Pettinen 2006: 94.)

Kutistumaominaisuudella on sitä enemmän merkitystä, mitä kookkaampi rakenne on. Pienikokoisissa, esimerkiksi lyhyissä, alle 4 metrin pituisten palkkien koontihitsauksissa kutistuman merkitys on pieni, noin 1 millimetriä. Vastaavasti iso, esimerkiksi 20 x 20 metriä kooltaan oleva, kansipaneeli saattaa kutistua longien hitsausten yhteydessä leveyssuunnassa jopa yli 10 millimetriä ja pituussuunnassakin noin 10 millimetriä. Kutistumien ja muodonmuutosten suuruuteen vaikuttaa useita eri tekijöitä, jotka tuntemalla

ja joiden merkitystä vähentämällä, voidaan pienentää merkittävästi rakenteiden kokonaiskutistuman suuruutta.

Keskimääräisten hitsauskutistuminen kompensoiminen tapahtuu kutistumakertoimia käyttämällä. Toisena keinona on lisätä automatisointia ja mekanisointia, jolla saadaan laskettua käsityönä tehtävien töiden osuutta. Käsityön osuuden pienentäminen on merkittävää juuri siksi, että tekijöiden välisistä eroista johtuvat, paljon vaihtelua sisältävät työt, saadaan korvattua menetelmillä, joilla aiheutuu vakaa kutistuma. (Taskinen 2011: 28–34.)

Yleensä muodonmuutokset ja kutistumat ovat ”ei toivottavia” ominaisuuksia, joiden syntymistä pyritään välttämään ja vaikutusta pienentämään. Rihtaus on erityistapaus, jossa ominaisuutta voidaan hyödyntää. Esimerkiksi kansipaneelissa olevaa, tasomaisuuspoikkeamaa korjataan rihtaamalla aluetta, jossa poikkeama on. Kappaleen jäähtyessä rakenne kutistuu ja kiristyy, jolloin tasomaisuuspoikkeama pienenee tai häviää kokonaan (kuva 8).



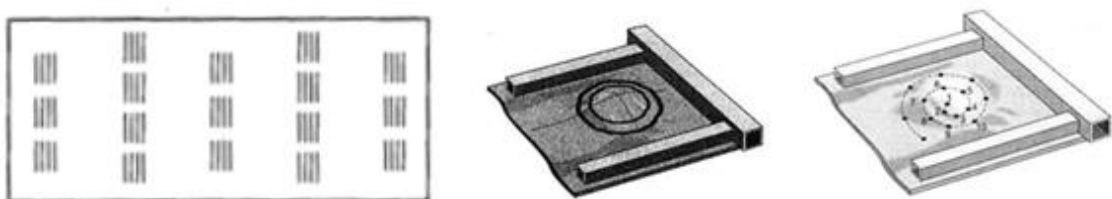
Kuva 8. Suurlohkon ylimmällä kannella suoritetaan oikaisua eli rihtausta

Laivanrakennusprosessin kannalta merkittävimmät kutistumia aiheuttavat työt ovat hitsaus ja rihtaus. Kokonaiskutistumien kannalta rihtauksen osuus on noin 2/3 ja hitsauksen osuus 1/3, mutta nämä osuudet voivat vaihdella laivatyypeittäin. Lohkonkoontivaiheen kutistumat ovat lähes kokonaan peräisin hitsauksesta. Suurlohkon koontivaiheen jälkeen suoritetaan kansien ja tarvittaessa laitojen sekä laipoiden oikaisu, jolloin suurlohkovaiheessa kutistumien aiheuttaja on lähes yksinomaan rihtaus.

Oikaisutarve tulee pääsääntöisesti aikaisempien työvaiheiden hitsausten, mittatarkkuusongelmien tai asennusvirheiden aiheuttamista muodonmuutoksista ja jäännösjännitysten vapautumisista (kuva 9). Telakalla tapahtuva rihtaaminen suoritetaan tavallisesti tekemällä ”kuumennusviivoja” (kuva 10) usean kaasupillin yhdistelmällä eli rih-tausharavalla. Muita harvemmin telakalla käytettyjä rihtaustapoja ovat ”piste- ja rengaskuumien” teko, joita tehdään yksittäisellä kaasupillillä.



Kuva 9. Rihtaustyön suorittaminen rihtausharavalla



Kuva 10. Erilaisia rihtaustapoja; ”viivakuumat”, ”rengaskuumat” ja ”pistekuumat”

Laivan rungon mallintaminen tehdään nimellismitoilla. Jotta valmis laivan runko olisi teorianmittainen, sitä täytyy kasvattaa mallinnuksessa kutistumakertoimilla. Nämä kutistumakertoimet sisältävät hitsauksen ja rihtauksen aiheuttamien kutistumien kompensatiokertoimen. Hitsauksen aiheuttamat kutistumat ennakoidaan seuraavalla tavalla: Taulukosta valittu kyseisen **kohteen kerroin** * **kohteen teorianmitta** = **kasvatettu osapituus** (Laine 2004: 1).

2.2 Kutistumien kompensointikeinoja

Eri työvaiheiden aiheuttamia kutistumia ja mittapoikkeamia voidaan saada kompensoidua valmiissa rakenteissa eri tavoin. Tavallisimmin käytettyinä keinoina ovat olleet kutistumien kompensointikerrointaulukon käyttäminen sekä suunnitelmiin lisätyt ylimitat ja työvarat. Eri keinot sopivat erilaisiin käyttötarkoituksiin. Työmenetelmien ja laitteiden kehittyessä pyrkimys on ollut entisestään vähentää ylimittojen ja työvarojen käyttöä, kun parannetaan kutistumatietoutta ja analysoidaan mittaustuloksia (Laine 2005: 2).

Ylimittojen ja työvarojen käyttökohteet ja suuruudet päätetään projektin suunnitteluvaiheessa. Silloin huomioidaan rakenteen erityisvaatimukset, joita ovat esimerkiksi rakennustavasta tai -paikasta johtuvat erityisvaatimukset. Kutistumien kompensointikertoimet ovat pitkäaikaiseen kokemukseen perustuvaa tietoa rakenteiden käyttäytymisestä hitsauksen aikana. Yleensä kertoimet ovat varsin muuttamattomia, sillä kertoimen uudistaminen vaatii todella paljon mittauksia ja analysointia.

Uusien rakenneratkaisujen ja materiaalityyppien käyttämisessä voi tulla tarvetta päivittää kertoimia. Kutistumakerrointaulukon parantamisen hyödyt nähdään parhaiten, kun tehdään sarjalaivaa. Tavallisesti sarjalaivan ensimmäisessä laivassa havaitut virheet ja rakenteiden parannustarpeet ehtivät vasta sarjan kolmanteen laivaan.

Isojen rakenteiden mittatarkkuuden varmentamisessa koko alueen laajuudessa paras kompensointimenetelmä on kutistumakertoimet. Kutistumakertoimilla voidaan kasvattaa koko rakennetta niin, että esimerkiksi hyttien asennuksia varten tai muuhun ennalta tiedettyyn ahtaaseen paikkaan tuleville varusteluosille saadaan mitoitettua riittävät tilat. Mitä tarkemmaksi kutistumakertoimet halutaan määritellä, sitä tarkemmin eri vaiheiden valmistusmenetelmät, -koneet ja materiaalityyppien vaikutus tulee selvittää. Kun halutaan varmistaa keula- ja peräpään muotolohkoalueilla olevan aineen riittävyys, tämä

tarkoittaa, että kansi- ja laitalevyjen, profiilien sekä muiden rakenteiden pituus on riittävä suurlohkorajalla, rungonkoontia ajatellen. Paras lopputulos saadaan aikaan käyttämällä useamman eri kompensointitavan yhdistelmää, jossa niiden käyttökohteiden sijoittelu on tehty oikeisiin paikkoihin.

Vaikka kutistumakerrointaulukoiden arvoja hiotaan moneen kertaan, on silti mahdollista, että rakenteen mitat saadaan pilattua väärällä tavalla toteutetulla rihtaamisella. Paremminkin tunnetun hitsauksen kutistumavaikutus kokonaiskutistumisessa oli keskimäärin vain reilut 33 %. Käsityönä tehtävän ja enemmän vaihtelevalla rihtauksen kutistumavaikutuksella voidaan saada aikaan paljon enemmän kuin 66 % kokonaiskutistumista.

2.2.1 Kutistumakertoimet

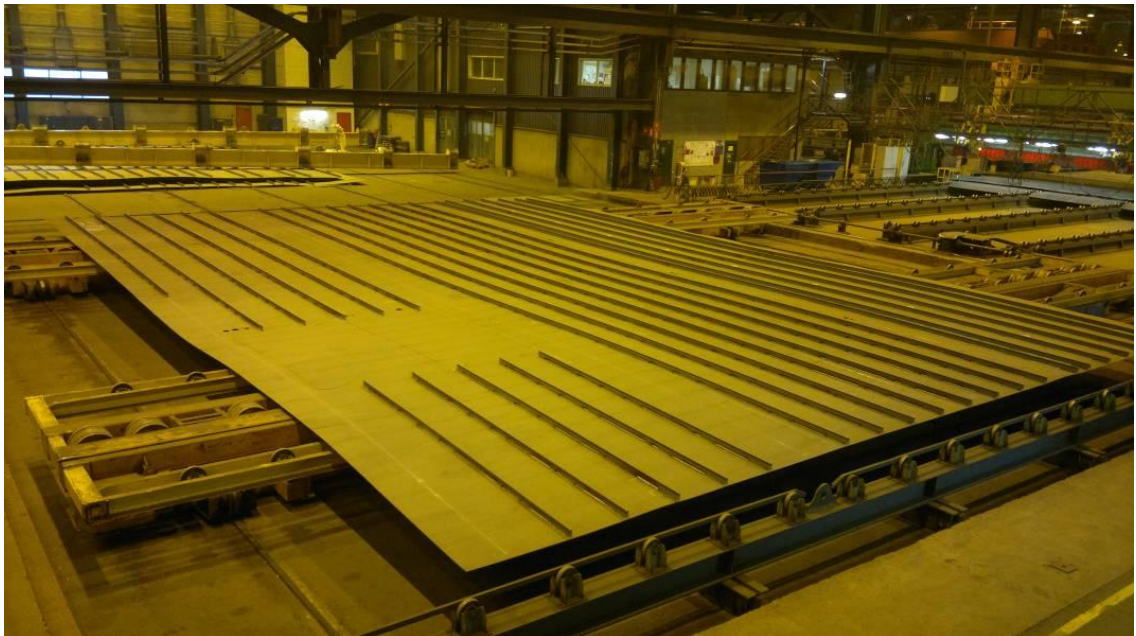
Kutistumakertoimet ovat koko kutistumien kompensoinnin lähtökohta, joita ilman valmistettavista tuotteista tulisi alamittaisia. Aluksi rakenteet tehdään ”ylimittaisiksi”, jotta niistä kutistuttuaan hitsauksen ja rihtauksen seurauksena tulisi teoriamittaisia. Kutistumakertoimia tai kutistumakerrointaulukkoja (liite 3) ei voi hankkia valmiina, eikä toisten konepajojen, telakoiden ja muiden vastaavien valmistajien käyttämiä kutistuma-arvoja voida käyttää suoraan, vaan ne on luotava kokemusperäiseen tietoon perustuen valmistuspaikkakohtaisesti. Yksittäinen kutistumakerroin on tietämystä telakan tuotannon yksittäisen valmistuspisteen ominaisuuksista. Kutistumien suuruuden ennustaminen on mahdotonta ilman tuotantokokeita (Karhunen 1993: 29).

Turun telakalla jokaiselle laivaprojektille alkuvaiheessa erikseen tehdyissä runkosuunnitteluohjeissa esitellään kyseisessä projektissa käytössä olevat kutistumataulukot. Mitattarkkuuteen vaikuttavien asioiden riittävän selkeä ja yksiselitteinen ohjeistaminen on tärkeää etenkin siitä syystä, että iso osa suunnittelutyöstä toteutetaan suunnittelualihankkijoiden ja heidän alihankkijoidensa toimesta. Nykyisin suuri osa tästä suunnittelusta menee alihankintatoimistoilta vielä edelleen heidän alihankkijoilleen. Moni näistä alihankkijoiden alihankkijoista toimii Suomen rajojen ulkopuolella.

Käytettävät kutistumakertoimet eivät ole absoluuttisia oikeita totuuksia. Ne pyrkivät olemaan aiempiin kokemuksiin perustuvia mahdollisimman hyviä arvauksia, jotka kuvaavat eri materiaaleista olevien eripaksuisten levyjen, profiilien ja muiden rakenteiden käyttäytymistä. Niiden avulla pyritään tekemään mahdollisimman oikeamittaisia kapp-

leita valmistusvaiheesta riippuen. On muistettava kuitenkin, että kaikkeen tekemiseen sisältyy aina vaihtelua. Vaikka tietty työvaihe yritettäisiin tehdä mahdollisimman tarkasti, pystytään jo ennakolta tietämään, että verrattaessa kahta identtistä kappaletta, niissä havaitaan vaihtelua. Merkittävin asia, jota ei voida huomioida lienee yksittäisen työntekijän vaikutus hitsaus- ja rihtauskutistumiin. (Storch 1995: 319.)

Kutistumakertoimet eivät voi kuitenkaan huomioida kaikkia muuttujia, jotka vaikuttavat kutistumiin. Yleensä vaikuttavina tekijöinä on hitsattavan materiaalin paksuus ja se, onko hitsaustapana jatkuva hitsaus vai katkohitsaus. Käytetty hitsausmenetelmä vaikuttaa myös merkittävästi kutistuman suuruuteen. Sen vaikutusten huomioinniksi jokaiselle erityyppiselle valmistuslinjalle on määriteltävä oma valmistusominaisuuksia kuvaava kutistumakerroin.



Kuva 11. Palkitettu kansipaneeli. Vasemmassa reunassa keskellä aukon kohta, palkiton alue.

Kansipaneeleissa (kuva 11) olevia muuttuvia tekijöitä, joita ei yleensä voida huomioida, ovat mm. profiilien koko, käytettävä longijako, se onko kannessa aukkoja ja minkä kokoisia aukot ovat, missä aukot sijaitsevat ja onko aukko reunassa vai keskellä levyä. Laitalevyjen jäävyöhykealueella on yleensä huomioitu tiuhemman longivälin hitsausten aiheuttama suurempi kutistumavaikutus.

2.2.2 Affiininen kasvatuskerroin

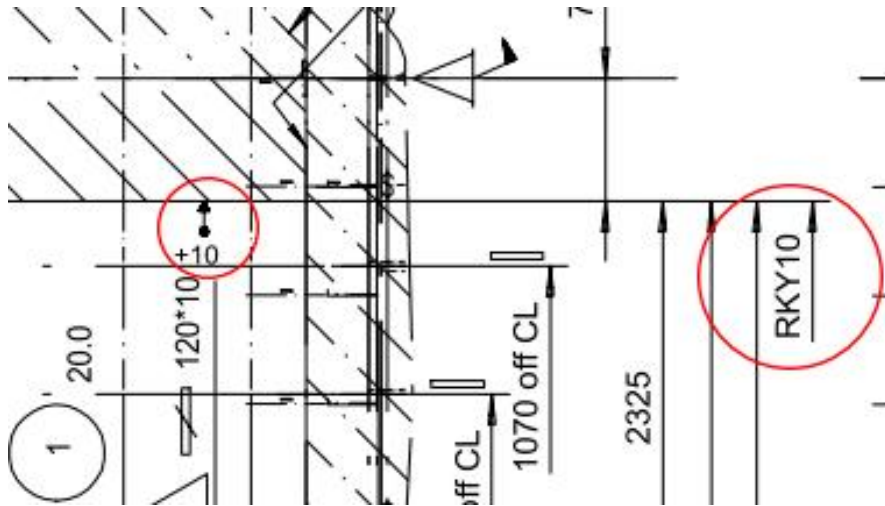
Aiemmin kutistumien kompensoinnissa käytettiin niin sanottua affiinista kasvatuskerrointa, joka oli rungon 3D-mallin perusjakoihin (kaari-, longi- ja korkeusjakoon) tehty 0,5 millimetrin lisäys (teoreettinen kaarijako 750 millimetriä -> affiininen kaarijako 750,5 millimetriä). Nykyisin affiinista kasvatuskerrointa ei käytetä, vaan sama asia on hoidettu kasvattamalla kutistumakertoimen suuruutta affiinisien kasvatuksen suuruusosalla. (Kuusilehto 2004: 1; Kuusilehto 2013.)

2.2.3 Ylimitat ja työvarat

Ylimitat ja työvarat eivät ole samanlaisia kutistumien kompensointiarvoja kuin arvot varsinaisissa kutistumataulukoissa. Niitä myös käytetään varsinaisten kutistumakerrointen ohella, joten mikään näistä ei poissulje toisiaan. Tavallisesti näiden arvojen suuruus ja käyttökohteet määritellään projektin suunnittelun alkuvaiheessa, jolloin ne lisätään suunnitteluaineistoon.

Ylimitta on rakenteen lisämitta. Suuruudeltaan se on yleensä noin 5–10 millimetriä. Mikäli ylimitallisiin levy- ja profiiliosiin kuuluvat viisteet, ne ovat silloin mukana ylimitallisissa mitoissa. Tällä tavoitellaan sitä, että ylimääräisellä mitalla kompensoidaan pieniä poikkeamia ja railo on nopeasti hitsattavissa, koska viisteet ovat jo valmiina. Lisäksi ylimitta on niin pieni, ettei siitä aiheudu haittaa, vaikka hitsiliitoksessa materiaalia (pituutta) olisi hieman liikaa.

Usein onkin niin, että pienen ylimitan pois polttaminen on hankalampaa kuin sen jättäminen rakenteeseen ja hieman liian pitkänä hitsaaminen. Muutamien millien ylimitan poistaminen polttoleikkaamalla tai hiomalla ei yleensä onnistu. Poispoltolla voidaan aikaan saada se, että tavoitemittaan ei päästä ja että rakenne lyhenee enemmän kuin olisi ollut tarve. Ylimitta voi olla määritelty myös työvaihekohtaiseksi, jolloin työkuivissa näkyvä lyhenne "SLY" merkitsee suurlohkonkoontivaiheessa poistettavaa ylimittaa ja "RKY" rungonkoontivaiheessa poistettavaa ylimittaa (kuva 12 ja liite 2).



Kuva 12. Ylimitan merkintätavat työkuvasa

Työvara on myös rakenteen lisämitta, jolla kompensoidaan ylittää isompia poikkeamia. Tavallisesti sen suuruus on noin 15–20 millimetriä. Työvarallista levyn reunaa ei ole viistetty osavalmistuvaiheessa, koska ajatuksena on se, että rakenteessa on riittävästi lisämittaa, josta asennusvaiheessa käyttöön otetaan tarvittava määrä pituutta. Tällöin levyn reuna vaatii aina työstöä viisteen teon ja oikeaan pituuteen katkaisun takia. Juuri työvaran lisätoiden ja työkohteessa hankalasti toteutettavan viisteen teon takia sitä käytetään harvemmin kuin ylittää. (Laine 2005: 1.)

Käyttökohteina näille lisämittoille ovat erityisesti rungonkoonnin yhteydessä muotoalueen suurlohkojen poikittaissuunnan lohkorajoilla sekä leveärunkoisissa laivoissa myös pituussuuntaisilla suurlohkorajoilla. Ylittää käytetään myös joissakin suurlohkoissa ylimpien kansien mittojen varmentamisessa. Liitteessä 2 on esimerkki laivaprojektin ylimitoista.

Ylimita ja työvara ovat hyviä rakenteiden mittojen varmentamiskeinoja, kun niitä käytetään paikallisten poikkeamien korjaamisessa. Tämänkaltaisia rakenteita on lohkoissa, joissa on paksuja materiaalivehkuuksia ja jotka sisältävät esimerkiksi kaarevaa muotoa suurlohkorajalla. Heikkoutena ylimitassa ja työvarassa on se, että kyseiset mittalisät kompensoivat mittaa vain yhdessä kohdassa lohkoa ja suurlohkoa; keula- tai peräpäässä tai CL-liitoksessa. Siten ylimitalla ja työvaralla ei saada mittaa kasvatettua tasaisesti kuten kutistumien kompensointikertoimella.

3 Kutistumakompensaatioaineiston kerääminen Turun telakalla

Kutistumien kompensoinnin lähtökohta on riittävän luotettava ja edustava otos mittaus-tuloksia vastaavista rakenteista, joiden pohjalta valmistusvaihekohtaiset kertoimet las-ketaan. Kertoimia täytyy myös ylläpitää, eli huolehtia siitä, että käytössä olevat arvot vastaavat riittävän hyvin todellisuutta, etenkin silloin jos prosessissa tai valmistusko-neissa on tapahtunut muutoksia. Turun telakan kutistumataulukoiden arvoja ei ole var-mennettu muutama vuoteen kutistumamittauksia tekemällä. Oletuksena on ollut, että käytetyt arvot ovat oikeita. Toisinaan arvojen oikeellisuutta on kuitenkin kyseenalaistet-tu. (Kuusilehto 2013.)

Tästä syystä vuoden 2011 loppupuolella otettiin esille, että kutistuma-aineiston keruuta varten tulisi käynnistää pieni tutkimusprojekti. Projektin rajoittaviksi tekijöiksi tuli käytet-tävän rahamäärän suuruus sekä mittausaineiston keräämiseen tarvittava aika. Nykyi- sessä taloustilanteessa voi olla vaikea perustella kutistumamittausten tarpeellisuutta, varsinkin kun projektin tulokset ovat nähtävissä vasta pitkän ajan päästä.

Tarkkuus, luotettavuus ja taloudellisuus asettavat ehtoja koemittausten suorittamiselle. Työn järjestelmällinen tekeminen varmistetaan käyttämällä työvaihelistaa. Alla on esi-tetty tyypillisen mittausprojektin työvaiheet:

1. tehtävän määrittely
2. suoritusvaihtoehtojen etsiminen ja vertailu
3. tarkoituksenmukaisuuden tarkistus
4. epävarmuuden ennakkoarviointi
5. mittauslaitteiden tarkistukset ja kalibroinnit
6. mittausten suoritus
7. tulosten epävarmuuden arviointi
8. tulosten käsittely ja epävarmuuden jälkiarviointi
9. tulosten kelvollisuuden arviointi
10. dokumentointi ja saatujen tulosten informointi asianosaisille.

Jos jossain edellä mainitussa vaiheessa todetaan, että tehtävän vaatimuksia ei täytetä, on tehtävälissassa palattava askel takaisinpäin. (Aumala 2001: 179.)

3.1 Tilastollisesti luotettavan aineiston koko

Kutistuma-arvoja määrittelevän aineiston on oltava riittävän suuri, jotta sen pohjalta voitaisiin määritellä riittävän luotettavasti uudet kertoimet. Määrä ei olisi ongelma, jos mittausdataa olisi jo olemassa usean vuoden ajalta tai mikäli olisi mahdollista kerätä sitä pidemmältä ajanjaksolta. Määräaikaiseen projektiin liittyen täytyi kuitenkin tietää, mikä olisi se minimimäärä, jolla tulokset olisivat tilastollisesti luotettavat, koska tässä vaiheessa keruuseen ei voinut käyttää paria kuukautta enempää aikaa.

Suoranaista vastausta tähän ei löytynyt. Turun telakan QA-asiantuntijan Harri Hännisen kanssa käydyissä keskusteluissa selvisi, että hänen näkemyksensä luotettavasta aineiston määrästä olisi 15 havaintoa aineenvahvuutta kohti. Valmistusvaihekohtaisen kutistumakerroinsuoran laskemiseksi tarvitaan tietoja vähintään kolmelta eri aineenvahvuudelta, jolloin tarvittavien havaintojen yhteismäärän minimi olisi noin 50 kappaletta mittauksia valmistuslinjaa kohti. Tähän arveltiin päästävän kahden kuukauden pituisen mittausprojektin aikana. (Hänninen 2011.)

Kutistuma- ja muidenkin tutkimustietojen keruussa on tärkeää niiden huolellinen dokumentointi ja järjestäminen. Tästä on apua tulosten jatkokäsittelyssä. Tiedoista ei ole hyötyä, mikäli alkuperää ja niihin vaikuttavia ominaisuuksia ei kirjata riittävän tarkasti. Melko usein hyödyllisen tiedon määrä on vähäinen, vaikka tiedon keruuseen on käytetty aikaa. Tämä korostuu erityisesti, jos aineiston analysoinnin kannalta olennaisia asioita ei ole muistettu tai pystytty kirjaamaan.

Hitsauskutistumien määrittelyyn on tarpeen kerätä ainakin; mittauksen suorituspäivä tai -päivät, materiaalipaksuudet, kappaleiden mitat ennen ja jälkeen hitsauksen sekä käytetty hitsausmenetelmä. Jos käytetään useampaa eri mittavälinettä, on mainittava myös käytetty mittaväline. (Kume 1989: 13.)

Tarpeellisia lisätietoja ovat myös mittauslämpötilat, mittauspaikka ja työnjohtaja. Hyödyllistä on myös ottaa valokuva mitatuista laita-, laipio- ja kansipaneeleista. Kuvasta voi myöhemmässä löytyä analysoinnin kannalta hyödyllisiä tietoja kuten; onko aukkokohdan levy paikallaan tai onko osa kanteen tulevista palkeista mittaushetkellä ollut vielä hitsaamatta (kuvat 11, 15, 21 ja 22).

3.2 Mittausaineiston keräämisen laajuus

Kutistumakerrointen ylläpito on tärkeä osa telakalla tapahtuvaa laadunvalvontaa. Rakenteiden mittatarkkuutta ja tuotannon laatua olisi seurattava jatkuvasti. Ei riitä, että tehdään lyhytaikainen prosessin parannusprojekti, jossa mitataan ja selvitetään ongelmia. Kutistuma-asioiden ympärillä olisi oltava jatkuvasti, ja näihin töihin olisi oltava myös resurssit. Monesti kuitenkin unohtuu se, että kutistumaseurantaa eikä muutakaan laadunvalvontaa tehdä vain prosessin tekemisen takia, vaan siksi, että kerätty tieto analysoidaan ja hyödynnetään niin, että se auttaa parantamaan ja ylläpitämään tuotteiden mittatarkkuutta riittävän korkealla tasolla.

Kutistumien kompensointiin tarkoitettujen aineistojen kerääminen mittaamalla on aloitettu Turun telakalla jo 1980-luvulla. Nämä oli toteutettu mittaamalla osa- ja lohkovalmistusvaiheessa hitsauksen aiheuttamia kutistuma-arvoja sekä työvaihekohtaisilla prosessimittauksilla leikkauskoneiden tarkkuuksia. Näiden lisäksi tutkittiin lohko- ja suurlohkovaiheiden loppumittaustuloksia vertaamalla suurlohkovaiheessa tehtyjen rihtausten aiheuttamien kutistumien suuruutta.

Kutistumien seuranta oli toteutettu läpi koko telakan tuotannon jokaisessa erillisessä valmistuspisteessä. Tuotantoketjun alkupäässä selvitettiin profiilien ja levyjen esikäsitelylinjojen maalikalvon paksuuden tarkkuutta sekä prosessin vakiona pysymistä. Seuraavana vaiheena oli tarkkailla polttoleikattujen levy- ja profiiliosien polton tarkkuutta. Tämän jälkeen tuli hitsaamalla koottujen rakenteiden hitsauskutistumien suuruuden selvitys. Näitä rakenteita ovat esimerkiksi kansipaneelit, t-palkit, laidat ja laipiot.

Valmiiden kansipaneelien päälle liitettävien kaarien ja laitojen sekä laipioiden hitsauskutistumia selvitettiin myös, jolloin saatiin selville lohkovaiheen keskimääräisten kutistumien suuruus. Suurlohkovaiheen päätteeksi tehtiin vielä viimeiset mittaukset, joiden avulla selvitettiin suurlohkonkoontivaiheen hitsausten ja rihtausten aiheuttamat kutistumavaikutukset.

3.2.1 Projektiluonteinen kutistuma-aineiston kerääminen

Projektiluontoinen kutistumien seuranta tapahtuu jostakin etukäteen määritellystä tarpeesta. Syinä voi olla tarve selvittää prosessin nykytaso, esimerkiksi tuotantolinjan hit-

sausmenetelmän muutoksen jälkeisten kutistuma-arvojen suuruus tai kokonaan uuden ohuemman aineenvahvuusalueen ottaminen valmistettavaksi, mistä ei ole ennestään kokemuksia. Kaikkein paras tilanne olisi se, että aina kun uudenlaista rakennetta tai rakennetyyppejä tulee tehtäväksi, kannattaisi ensimmäisten kappaleiden kutistumien seurantamittaamiseen panostaa.

Ensimmäisenä vaiheena on määrittää suoritettavan mittausprojektin pituus. Mittausprojektin minimipituus muodostuu jakamalla tilastollisesti luotettavan aineiston minimikoon suuruus tuotantolinjan keskimääräisellä päivätuotantomäärällä. On kuitenkin huomattava, että tällä tavalla saatava projektin keston minimipituus on yleensä liian lyhyt. Todellinen ajan tarve on kaksin- tai jopa kolminkertainen riippuen siitä, minkälaisia muuttuvia tekijöitä valmistettavissa kappaleissa on. Mittausprojektin pituuteen vaikuttaa olennaisesti myös se, miten paljon analysointiin kelpaavia rakenteita kulloinkin on työn alla.

Tämä aiheuttaa sen, että varsin rajattuna aikana voi olla hankalaa kerätä aineistoa, joka sopisi hyvin analysoitavaksi. Aineistossa voi olla hajontaa esimerkiksi rakenteen paksuuden, geometrian tai jäykistämateriaalin suhteen, jolloin kerätyistä aineistosta ei saada riittävästi havaintoja analysoitavaksi tai vastaavasti aineiston suhteen joudutaan tekemään yleistyksiä, jotka saattavat heikentää projektin tuloksena saatavien kerrointen oikeellisuutta ja tarkkuutta.

Projektiluontoisen mittausprosessin hyötynä on se, että kokonaiskustannukset ovat tiedossa jo ennen mittausprojektin aloittamista. Tällöin kuitenkin täytyy olla määriteltynä projektin kesto sekä tarvittavat resurssit. Myös projektin hallinta on helpompaa, kun kokonaiskesto tiedetään ennakkoon. Projektiin osallistuvien henkilöiden mahdollista organisoida mittaukseen liittyvät sekä muut ”normaaliin toimenkuvaan” kuuluvat tehtävänsä, niin että molempien osa-alueiden työtehtävät on mahdollista hoitaa. Määräaikainen projekti on helppo aloittaa ja lopettaa, johtuen juuri rajallisen ajan projektiin sitoutuvista resursseista. Lisäksi yleensä projektin kohteeksi valitaan joku tai jotkut työvaiheet, jolloin kerroinaineistoa varten analysoidaan rajallinen määrä mittausaineistoa.

3.2.2 Jatkuvasti tapahtuva kutistuma-aineiston kerääminen

Jatkuvasti tapahtuva kutistumien seuranta aloitetaan yleensä projektiluontoisesti työvaihe kerrallaan. Ensin aloitetaan projekti esimerkiksi yhden tai kahden kuukauden

kestoisena kokeiluna, jonka jälkeen analysoidaan projektin alussa opitut asiat ja korjataan tarvittaessa esimerkiksi ohjeistusta tai suoritustapaa. Käynnistysvaiheen jälkeen alkaa datan keruuoperaatio. Saatavan aineiston suuruus riippuu valmistuslinjan volyyminä. Aineistoa on analysoitava sitä tiuhempaan mitä enemmän sitä syntyy. Huonoin tilanne lienee se, kun aineistoa on kerätty, mutta sitä ei analysoida tai osata analysoida eikä siitä näin ollen saada mitään hyötyä.

On kuitenkin huomattava se, että mitä enemmän aineistoa on, sitä enemmän se vaatii työtä ja resursseja etenkin alkuvaiheessa. Lisäksi projektiin kuuluva henkilöstö on varsin tiiviisti sidottu projektiin. Pitkäkestoisen projektin hyötynä on myös se, että projektin suoritustapa tulee tutuksi ja ehkä alkuvaiheen harjoittelujakson jälkeen saadaan aikaan tasalaatuista aineistoa.

3.3 Resursointi

Merkittävä asia on se, miten aineiston keräämisen resursointi tulisi hoitaa. Tapoina voi olla joko alihankkijan tai telakan oman henkilöstön käyttäminen. Valinta on hyvin pitkälti kompromissi kustannusten, paikallaolon ja sitoutuneisuuden suhteen. Toisaalta työn suorittaminen on riippuvainen myös projektin kestosta ja siitä, minkälaisia henkilöitä voidaan tai on mahdollista projektin tiimoilta palkata.

3.3.1 Omana työnä suoritettavat mittaukset ja aineiston kerääminen

Valinta kutistuma-aineiston keruun omana tai alihankintana tehtävän työn välillä määrittyy tehtävän projektin kestosta. Pitkäkestoisissa projekteissa kannattaa etsiä omasta henkilöstöstä sopivat tekijät. Saavutettavina etuina ovat pienemmät kustannukset ja kattavampi mittaushenkilöstön paikallaolo. Toisaalta heikkoutena on se, että omalla väellä ei välttämättä ole osaamista seurantamittausten tekoon. Ensin valitaan riittävä määrä tekijöitä ja sen jälkeen annetaan heille tarvittava opastus mittauksiin. Tärkeintä on huolehtia, että mittausten suorittamiseen on riittävästi osaavaa henkilökuntaa. Se, mitataanko aamu- ja iltavuorossa sekä loma-ajalla vai pelkästään päivävuorossa lomakauden ulkopuolella, on riippuvaista valmistuksen ja aineiston keruun aikataulusta.

Huolellisen tekemisen kannalta voisi olla myös hyvä, jos telakan oma henkilöstö pääsee määrittämään tarpeellisia tarkkuuden tunnuslukuja ja laatuun vaikuttavia tekijöitä. Tällöin tarkkuuden ylläpito voidaan kokea paremmin omalle vastuulle kuuluvaksi työksi. Jos valitaan mittausten tekijä työpisteen henkilökunnasta, saadaan yleensä henkilö, jolla on riittävä osaaminen valmistuspisteen toiminnasta. Toisaalta täytyy myös huolehtia siitä, ettei aikaisempi linjalla työskentely vaikuta mittaustuloksiin vääristävästi. Mittaajan täytyy olla myös motivoitunut tekemään mittauksia. Optimaalisin tilanne olisi, että mittauksia suorittaisi henkilö, joka ei ole suoraan valmistuspisteellä työskentelevä, vaan henkilö, jolla on kahdesta kolmeen valmistuspistettä seurattavanaan.

3.3.2 Alihankintana suoritettavat mittaukset ja aineiston kerääminen

Yleensä lyhyissä ja erityisiin kohteisiin liittyvissä projekteissa on parasta käyttää alihankkijaa, jolla, mikäli mahdollista, saattaa jo ennestään olla sopivaa mittauskokemusta ja näkemystä asian oikeanlaisesta toteuttamisesta. Tällöin ei tarvitse jakaa tai kohdentaa olemassa olevia resursseja niin, että asiat tulevat hoidetuksi. Kustannukset nousevat korkeammiksi etenkin, jos toimintaa on useammassa, kuin yhdessä vuorossa. Toisaalta tulosten objektiivisuuden kannalta saattaisi olla hyvä, jos mittaukset toteuttaisi työpisteistä erillään oleva mittaaja, jolla ei ole riippuvaisuuksia saavutettuihin tuloksiin nähden. Alihankkijaa käytettäessä saattaa olla myös mahdollista toteuttaa mittaukset käyttäen esimerkiksi laserkeilausta tai fotogrammetriaa.

3.3.3 Työpistekohtainen ja toimenkuvallinen resursointi

Resursointia voidaan pohtia myös siltä kannalta, toimiiko henkilö yksittäisen valmistuspisteen mittaajana vai kiertävänä mittaajana usean eri valmistuslinjan välillä. Mikäli halutaan parantaa mittaajan mittaustehokkuutta, hänellä olisi hyvä olla esimerkiksi enintään kolme lähekkäin sijaitsevaa valmistuspistettä, joiden kutistumamittauksia hän suorittaa. Yhtäältä tehokkuus kasvaa, mutta toisaalta vaara siitä lisääntyy, että toisen kieroksen mittauksia jää tekemättä.

Optimaalinen tilanne olisi se, että yhden valmistuspisteen kutistumia valvoo linjan nimetty mittaaja. Mittaajalla tulisi olla myös nimettynä yksi tai kaksi varamiestä, jotka huolehtii mittauksista päätekijän lomien ja muiden poissaolojen aikana. Tällä varmistee-

taan se, että mittaja tuntee prosessinsa, tekee mittaukset aina samalla tavalla sekä ehtii väliajalla osallistua valmistuspisteen muiden töiden tekoon. Olennaista on ottaa huomioon linjan erityispiirteet: valmistuvien kappaleiden määrä vuorokaudessa, kappaleiden koko ja mitattavien pisteiden määrä.

3.4 Mittausasiat

3.4.1 Nimetty henkilö

Kutistumaseurannan tekijäksi nimetty yksittäinen työntekijä ottaa asiat todennäköisesti paremmin huolehtiakseen, kun verrataan sitä vaihtoehtoon, jossa sama tehtävä annettaisiin ryhmälle suoritettavaksi, jolloin henkilöiden vastuut ja velvollisuudet saattavat jäädä epäselviksi. Työntekijän saamien ohjeistusten täytyy olla selvät ja yksiselitteiset. Ohjeet on hyvä olla kirjallisina, mutta ne täytyy käydä mittaajan kanssa yhdessä läpi, jotta varmistutaan, että hän on ymmärtänyt tehtävänsä.

Huolellisen perehdytyksen avulla pienennetään systemaattisten virheiden tekemisriskiä. Henkilöllä täytyy olla edellytykset tarkastusten suorittamiseen osaamisen, aikataulun ja varusteiden suhteen. Työpistekohtaisesti nimetyn henkilön hyötynä on myös se, että yhden henkilön mittaamalla keräämät tulokset ovat paremmin vertailukelpoisia, kuin se, että tulokset ovat peräisin usean eri henkilöiden mittauksista, joissa erot mittalaitteista ja mittaustavoista saattavat tulla näkyviin. (Partanen 2013.)

3.4.2 Mittavälineet

Mahdolliseksi mittavälineeksi tai -menetelmäksi kutistumamittausten suorittamiseen voisi olla useampi vaihtoehto; mittaukset mitalla, takymetrillä ja laseretäisyysmittarilla sekä laserkeilaus ja fotogrammetria. Turun telakalla ei tällä hetkellä ole laserkeilainta, eikä fotogrammetriaan sopivaa laitteistoa. Alihankittuna niillä suoritettavien mittausten teko sekä tulosten käsittely olisi aikaa vievää ja kallista, joten niitä ei otettu mukaan tähän selvitykseen. Fotogrammetrian soveltamisesta kutistumamittauksissa on aikaisempaa kokemusta 2000-luvun alkupuolelta tehdyssä InterShip-projektissa (InterShip 2006: 2–33).

3.4.2.1 Mittavälineen valinta

Käytettävän mittavälineen valinnassa tulee eteen muutamia asioita, joiden suhteen valinta tulee tehdä.

- Valitaanko mittauksiin mekaaninen vai optinen mittaväline?
- Valitaanko mittaväline, jonka käyttäminen edellyttää lyhyttä perehdytystä vai hieman pidempää koulutusta?
- Mikä on käytettävän mittalaitteen tarkkuus?
- Mikä mittaväline soveltuu parhaiten yhden mittajaan tekemien mittausten suorittamiseen?

Mittalaitteen valinta on myös kytköksissä mitattaviin kappaleisiin ja mittausten suorittajaan. Kutistumamittausten suorittamiseen valittiin ensisijaisesti rullamitta ja toissijaisesti takymetri. Tässä tilanteessa tämä jaottelu onnistui helposti, sillä mittausten suorittajaksi valitulla alihankkijalla oli myös mittauskokemusta takymetrillä. Tutkimuksessa suoritettut mittaukset tehtiin kuitenkin pääosin rullamitalla mitaten. Rullamitalla mittaaminen ei yleensä onnistu enää lohko- ja suurlohkovaiheessa, koska rakenteissa on laivan poikittaissuuntaisia laipiota. Siitä syystä näissä mittauksissa takymetrillä mittaaminen on ainoa vaihtoehto.

3.4.2.2 Mittavälineen käyttö

Takymetrin ja mitan käyttö eroaa toisistaan suoritustavoiltaan. Takymetrillä etäisyys mitataan optisesti prismojen avulla ja mittanauhalla taas mekaanisesti kahden pisteen väli. Kumpaakin mittavälinettä voi operoida yksi mittaja, mutta sujuvimmin mittaus onnistuisi työparin tekemänä työnä. Käytännössä mittaustyö suoritetaan kuitenkin yhden mittajaan toimesta. Tähän päädytään lähinnä mittauskustannusten minimoimisen kautta. Yhden henkilön tekeminä mittauksina niissä on omat hankaluutensa, oli mittavälineenä sitten rullamitta tai takymetri.

3.4.2.3 Kalibroinnit

Turun telakalla on omat c-tason työohjeet pitkien mittojen (30 metriä ja yli) tarkastamisesta sekä optisten mittavälineiden kunnosta ja kalibrointien voimassaoloista. Näiden

ohjeiden mukaisesti huolehditaan niiden tarkastuksista, kalibroinneista ja lopulta hylkäämisistä.

Takymetrien osalta tarkkuuden pysyvyyttä seurataan telakan laatuohjeen mukaisesti mittamiesten suorittamien omien tarkastusten perusteella sekä laitteen maahantuojan huollon ja ulkopuolisen kalibroinnin suorittajan tekemissä tarkastuksissa. (Reijonen 2011: 1–3.)

Telakalla käytössä olevien 30–50 metrin mittojen kunnosta ja kalibroitimerkintöjen ajantasaisuudesta huolehtii mittalaitteen haltija. Jokainen mitta tarkastetaan vuosittain vertaamalla sitä niin sanottuun nollamittaan. STX:n Turun telakan käytössä oleva nollamitta on tarkastettu ulkoisella kalibroitipalveluntarjoajalla. Kun telakan vuosittain tarkastettava mitta täyttää tarkastusvaatimukset, siihen merkitään tarkastuksen jälkeen kyseisen vuoden mukainen tarkastusmerkintä. Tarkastuksesta ja sen tuloksesta tehdään kalibroitiraportti, joka on löydettävissä mittaan merkityn yksilöivän numeron perusteella. (Reijonen 2010: 1–3.)

3.4.2.4 Epävarmuuden arviointi

Mittaustuloksiin vaikuttaa neljä eri tekijää: mittauksen kohteesta, mittaajasta, mittalaitteesta ja ulkoisista olosuhteista johtuvat virheet. Näiden virheiden vaikutusta pyrittiin pienentämään seuraavia keinoja käyttämällä. Mittaukset suoritti yksi henkilö, jolloin mittaustapa pysyi vakiona koko ajan. Mittauksissa käytettiin yhtä ja samaa, kalibroitua mittausta. Mitta säilytettiin hallissa, jotta se olisi saman lämpöinen kuin mitattavat kappaleet. Ensimmäisen ja toisen mittauskerran mittaukset suoritettiin samoista merkityistä pisteistä. Mitta pyrittiin saamaan kulkemaan aina pintaa pitkin. (Andersson 1997: 138.)

3.4.3 Mittaustapa

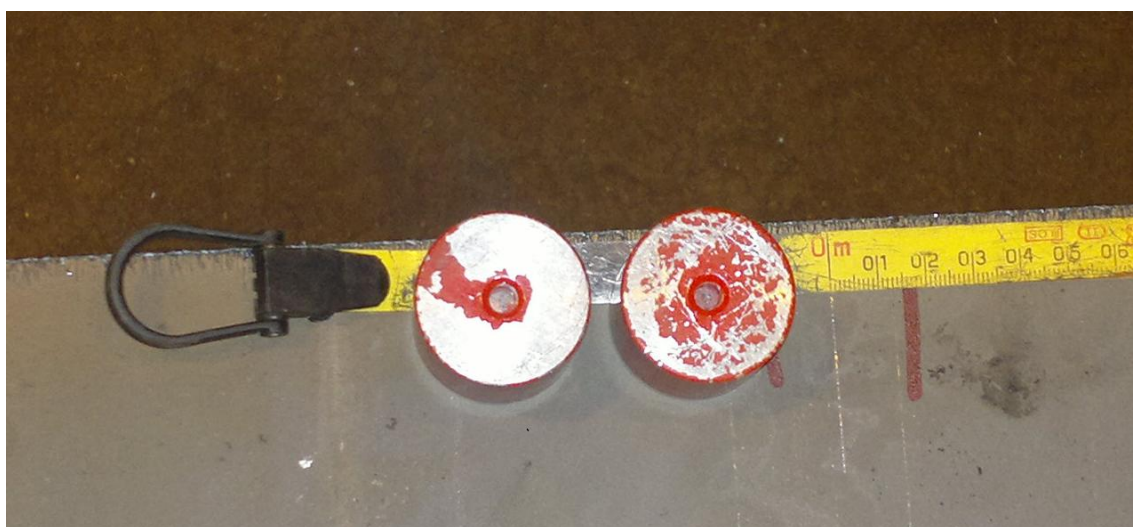
Kun on monta mittaajaa, on monta mittausten tekotapaakin. Erityisesti silloin, kun useampi mittaaja kerää aineistoa samalta valmistuspisteeltä, on syytä yhdenmukaistaa mitaustapahtumien suorittaminen heti alusta alkaen. Tällä halutaan varmistaa se, että eri tekijöiden tekemät mittaukset olisivat mahdollisimman hyvin vertailukelpoisia tois-

tensa kanssa. Lisäksi, kun noudatetaan yhdenmukaista mittaustapaa, vähennetään mittaajasta johtuvaa virhettä. Tässä tutkimuksessa mittaukset suoritti vain yksi henkilö.

3.4.3.1 Mittaukset kansipaneeleille

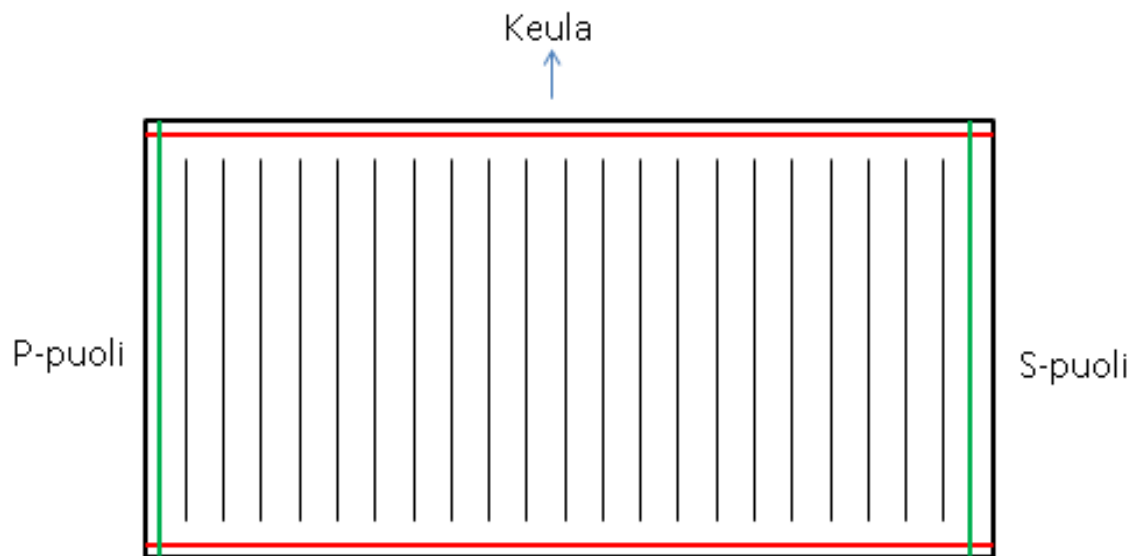
Kansipaneelien polttoleikkaus- ja palkitusvaiheissa olevat alustat eivät tue kunnolla paneelia, jolloin paneeli pääsee taipumaan ja roikkumaan. Osa taipumista selittyy myös poltossa ja palkituksessa tapahtuvista kutistumisista ja jäännösjännitysten vapautumisista. Rullamittamittauksissa on eri vaihtoehtoja siitä, kuinka kansipaneelien mittaukset tulisi suorittaa. Näihin mittauksiin liittyen vaihtoehtoja on kaksi. Ensimmäisenä on vaihtoehto, jossa mitta myötäilee mitattavan pinnan muotoa, eli mitataan pintaa pitkin. Toisena vaihtoehtona on jännittää mitta alku- ja loppupisteen väliin esimerkiksi viiden kilon voimalla, jolloin mitta kulkee suoraan välittämättä pinnassa olevista tasomaisuuspoikkeamista.

Kummassakin tavassa on omat hyvät ja huonot puolensa. Pintaa pitkin mitattaessa on seurattava sitä, että mitta kulkee koko ajan pinnassa kiinni. Jännitetyllä, suoraan kulkevalla, mitalla menetetään informaatio pinnan tasomaisuuden muutoksesta vaikutuksesta pituuteen eri vaiheiden mittauksen välillä. Pinnan tasomaisuus ja muoto voi muuttua hitsausten ja kappaleen siirron vaikutuksesta. Lisäksi jännitettyä, pinnasta irti olevaa mittaa voi olla vaikea kohdistaa tarkasti mitattavien pisteiden päälle. Mitan paikallaan pysyvyyttä voi parantaa käyttämällä magneetteja mitan alkupäässä (kuva 13).



Kuva 13. Magneetit pitävät mitan nollakohtaa paikallaan levyssä olevassa piirtopuikkomerkinä

Kansipaneelien mittaukset on yksinkertaista suorittaa, kun niitä ei ole vielä palkitettu. Palkituksen jälkeen profiilit estävät pintaa pitkin tehtävät mittaukset leveyssuunnassa kannen keskeltä. Mitan nostaminen irti kannesta ei ole hyvä vaihtoehto, koska tällöin mitan ja mittauspaikeen kohdistaminen ei ole tarkka. Leveyden mittaukset keula- ja peräpäässä on otettava mahdollisimman läheltä reunaa. Siitä syystä ensimmäisen kerran mittauspaikeet on valittava niin, että myös toisella kerralla tehtävät mittaukset onnistuvat. Kuvassa 14 on esitetty mahdollisten mittauskohdien sijainnit. Punaisella merkitty kansipaneelin keula- ja peräpäässä olevat leveyden mittauskohdat ja vihreällä P- ja S-puolilla olevat pituuden mittauskohdat.



Kuva 14. Esimerkki palkitetun kansipaneelin mittauspaikeista

Myös takymetriä voidaan käyttää kansipaneelin mittauksessa, mutta se ei sovellu kovinkaan hyvin. Näin on siksi, että takymetri mittaa vain mittauspisteiden välisen matkan toisin kuin rullamitta, jolla mitattaessa pinnan muotojen vaikutus tulee näkyviin lopputuloksessa (kuva 15). Hyvänä puolena takymetrillä mitattaessa on se, etteivät longit ja muut rakenteet estä mittausten suorittamista.



Kuva 15. Kansipaneelin pituuden mittaus pintaa pitkin 30 metrin mitalla mitaten

Paras mittaustapa näissä kutistumamittauksissa on mitata niin, että mitta kulkee pintaa pitkin. Olennaisinta lienee myös se, että tapaa, joka mittausten alussa on valittu, pitää noudattaa koko mittausprojektin ajan. Tällä tavoin varmennetaan projektin eri vaiheissa suoritettujen mittaushavaintojen vertailtavuus.

3.4.3.2 Mittaukset t-palkeille sekä laidoille ja laipioille

T-palkkien sekä laita- ja laipiopaneeleiden mittaaminen on huomattavasti helpompaa kuin kansipaneeleiden. Tärkeimpänä syynä tähän ovat kappaleiden pienemmät koot. Toissijaisesti tähän vaikuttavat mittauspaikat, jotka ovat, etenkin tasomaisuuden kannalta, paremmat kuin kansipaneeleiden mittauksissa.

T-palkista mitataan pituudet laippalevyn päältä (kuva 16) sekä uumalevystä ala- ja yläreunasta (kuva 17). Mittaukseen mukaan otettavissa standardinmukaisissa t-palkeissa ei myöskään ole materiaalin paksuusvaihteluita, kuten kansi-, laipio- ja laitapaneelissa.



Kuva 16. T-palkin laippalevyn pituuden mittaus



Kuva 17. T-palkin uumalevyn yläreunan pituuden mittaus

Laidat ja laipiot jäykistetään palkeilla vastaavasti kuten kannet. Laidat ovat yleensä paksumpaa materiaalia, ja niissä on isommat jäykisteet kuin laipioissa. Molemmissa rakenteissa mittauskohdat on valittava samalla tavoin kuin kansienkin kohdalla tehtiin.

3.5 Mittausten dokumentointi

3.5.1 Materiaalipaksuudet

Ideaalitilanne kutistuma-arvojen selvittämiseksi olisi se, että mitattavat kansi-, laipio- ja laitapaneelit olisivat yhtä ja samaa paksuutta koko paneelin pinta-alan. Näitä rakenteita, joissa paksuus on sama läpi koko alueen, on kuitenkin vähän, etenkin kansipaneeleissa. Suurimmassa osassa kansipaneeleista paksuudet vaihtelevat jonkin verran pienin paksuuseroin koko kannen alueella. Joissain rakenteissa kansi on melkein saman paksuista koko kannen pinta-alan, lukuun ottamatta pientä aluetta, jossa materiaali saattaa olla paljon ympäröivää paksumpaa. Syinä paksumpien materiaalien käytölle voivat olla esimerkiksi kannen päälle tulevat raskaat koneet tai koneikot, jotka vaativat suurempaa lujuutta tai kannessa olevan aukon ympäristön vahvistaminen.

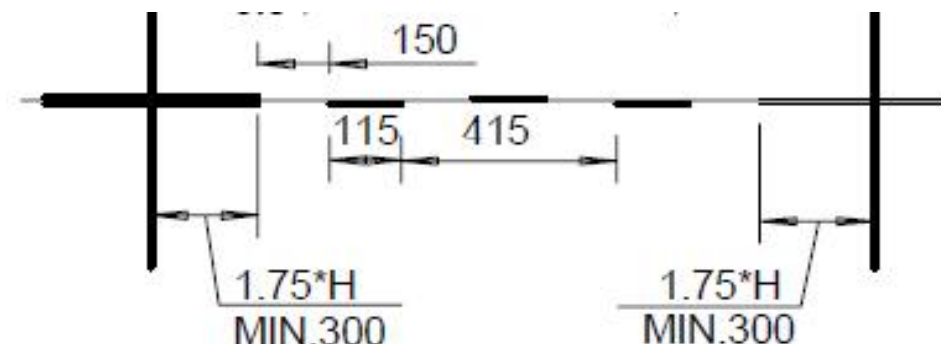
Paneeleista, joissa vaihtelu on pientä, on suhteellisen yksinkertaista määritellä kannen keskiarvopaksuus. Keskiarvopaksuus voidaan laskea joko eri levyjen paksuuksien keskiarvona tai painotettuna eri paksuuksien suhteellisina osuuksina. Tilanteissa, joissa paksuus vaihtelee paljon, voi keskiarvon laskeminen vääristää tuloksia. Näissä tilanteissa olisi parasta analysoida jokainen vaihteleva kansi-, laipio- tai laitapaneeli erikseen (liitteet 5 ja 6). Toisaalta tutustumalla etukäteen valmistettavien paneelien suunnittelumateriaaliin, voidaan tarvittaessa jättää mittaamatta paneelit, joiden analysointi voi olla hankalaa tai analyysistä saatava informaatio voi olla lopputuloksia vääristävää.

T-palkeista mitataan tavallisia palkkeja, joissa ei ole materiaalin paksuusvaihteluita uumalevyissä. Materiaalivaihtelut kohdistuvat laippalevyihin. Joissakin t-palkeissa niiden kevennysaukkojen ympäristöä on vahvistettu latikoilla. Nämä kannattaa jättää mittausten ja analysointien ulkopuolelle, koska ne ovat erikoisrakenteita, jotka muuten otettuna saattavat vääristää tuloksia.

3.5.2 Hitsityyppi

Hitsin pituussuunnassa paneelien hitsityypit voidaan jakaa kahteen eri ryhmään, jatkuvaan ja katkohitsaukseen. Pääerona näissä on se, että jatkuva hitsi on ehjää ja yhtenäistä alusta loppuun saakka. Katkohitsissa eli vuoropienahitsissa on hitsaamattomia kohtia sekä lyhyitä yhtenäisen hitsin alueita vuorotellen.

Viking Line- ja TUI-projekteissa kansipaneelien katkohitsissä hitsin pituus on 115 millimetriä ja hitsaamattoman kohdan pituus 150 millimetriä (kuva 18). Bulbien eli muototankojen molemmissa päissä minimissään 300 millimetrin tai 1,75 kertaa bulbin korkeuden mukainen hitsi. Tavallisesti kansipaneeleissa käytettyjen bulbien korkeudet ovat 100 ja 120 millimetriä. Määräykset perustuvat IACS:in ja DNV:n sääntöihin. Nämä mitoitusmitat on myös esitetty työkuviissa. (Järvinen 2013; Det Norske Veritas 2011: 138.)



Kuva 18. Muototankojen vuoropienahitsien mitoitus

Katkohitsiä käytetään, kun kansipaneeli ei ole kostean tilan, ulko- tai WT-alueen osana. Ns. kuivan tilan alueella rakenteen lujuus on yleensä riittävä, vaikka siinä ei olekaan yhtenäistä hitsiä. Jatkuvan hitsin käyttökohteina ovat erityisesti korroosionkestoa vaativat rakenteet ja liitokset joissa hitsiltä tai rakenteelta odotetaan suurempaa lujuutta. Varsin monet kansipaneeleista on kuitenkin hitsattu sekä katko- että jatkuvalla hitsauksella. Katkohitsi voidaan tarvittaessa hitsata jatkuvana hitsinä, mutta jatkuvaa ei voida korvata katkohitsillä. Katkohitsin hitsaaminen on hitaampaa kuin jatkuvan hitsin johtuen juuri monista aloitus- ja lopetuskohdista. (Partanen 2013.)

Osassa tämän tutkimuksen kansipaneeleista oli käytetty sekä jatkuvaa että katkohitsausta. Tutkimus aineiston keräämisen kannalta on huonoa, mitä enemmän näitä seka-hitsauksella olevia kansia on, koska näissä kohdissa mittauksilla kerätty aineisto on tavallaan mennyt hukkaan. Kansipaneelit, jotka sisältävät kumpaakin tyyppiä, eivät edusta kumpaakaan ryhmää, joista juuri haluttaisiin saada mittaustuloksia tähän tutkimukseen. Yhteistä kerointa katko- ja jatkuvalla hitsille lienee turha tehdä, koska tämänkaltaisen paneelin kerroin lienee mahdollista määritellä erillisten katko- ja jatkuva hitsitaulukoiden kautta. Ero jatkuvan ja katkohitsauksen kerointen välillä on noin 1 millimetriä 10 metrin matkalla (Jalava 2013).

Kaikki laidat sekä t-palkit hitsataan aina jatkuvalla hitsauksella, johtuen rakenteisiin kohdistuvista kuormituksista. Laipioista primäärirakenteet hitsataan jatkuvalla hitsauksella, mutta sekundääristen rakenteiden osalta käytetään katkohitsausta. (Kontkanen 2013.)

3.5.3 Hitsausmenetelmä

Hitsausmenetelmällä on merkitystä kutistumien kannalta, etenkin siinä tilanteessa, kun yhtä tiettyä levyn paksuutta hitsataan kahdella tai useammalla valmistuspaikalla erilaisilla hitsausmenetelmillä. Myös yksittäisellä valmistuspisteellä hitsausmenetelmä voi muuttua rakenteen levynpaksuuksien muuttuessa, kuten tapahtuu juuri 5-linjalla (liite 4) kansipaneelien hitsauksessa. Kannen paksuudet viidestä millimetristä 12 millimetriin tapahtuu Tandem MAG -hitsauksella (kuva 19) ja 12 millimetristä ylöspäin SAW-twin-hitsauksella.



Kuva 19. Tandem MAG –hitsausportaali

Eri menetelmiä on käytetty jonkin verran ristiin tämän tarkastelun kansipaneeleissa. Minimi palkin pituus, joka saadaan asennettua portaalilla kansipaneeliin on 4 metriä. Tätä lyhemmät palkit hitsataan käsin. T-palkeissa, laidoissa ja laipioissa käytettävän

hitsausmenetelmän sanelee hitsausasento sekä koontipaikka. (Partanen 2013; Kontkanen 2013.)

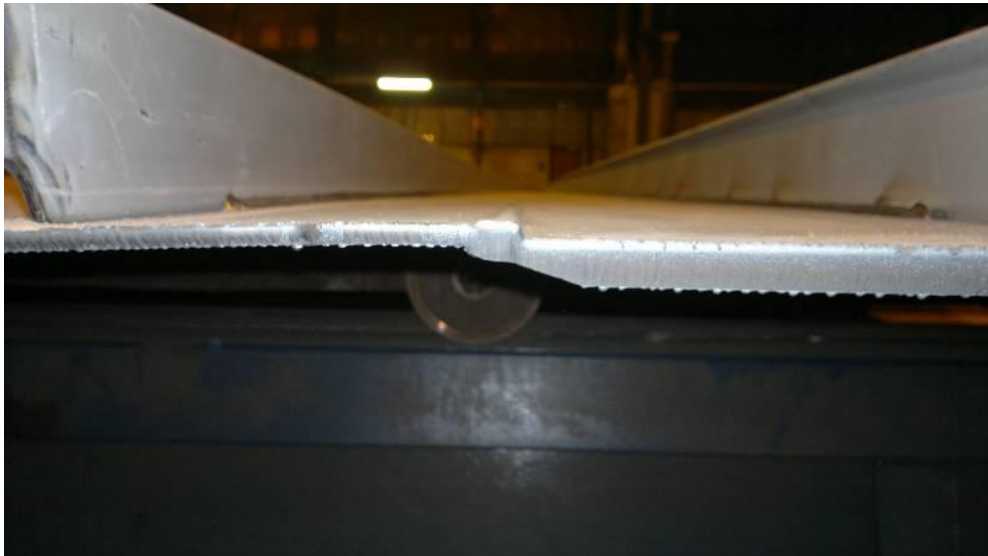
3.5.4 Rakenteiden vaihtelevat ominaisuudet

Laivan lohkojen rakenteet sisältävät useita muuttuvia ominaisuuksia. Näitä kansilevyissä ovat esimerkiksi kannen paksuuden ja muodon vaihtelu, longien korkeuden vaihtelu, longijaon vaihtelu, kansiaukkojen koko, sijainti ja määrä sekä eritasorakenteet. Kaikilla näillä tekijöillä on oma vaikutuksensa siihen, minkälaiseksi rakenteiden kokonaiskutistumien suuruus muodostuu. Osan tekijöiden vaikutusta kyetään pienentämään esimerkiksi käyttämällä vähemmän lämpöätuovaa hitsausmenetelmää tai hitsaamalla pienemmällä a-mitalla.

Laita- ja laipiopaneeleissa on vähemmän vastaavia vaihtelevia ominaisuuksia kuin kansipaneeleissa. Tyypillisesti levyjen paksuudet sekä aukkojen koot, sijainnit ja määrät vaihtelevat. T-palkeissa on paljon vaihteluita, mutta pääasiallisesti mittaukset tehdään standardin mukaisista palkeista, jossa vaihtelevina ominaisuuksina ovat laippalevyjen paksuudet, uumalevyjen korkeudet sekä uumalevyissä olevien kevennysaukkojen koot, sijainnit ja määrät.

3.5.4.1 Aineenvahvuuksien suuret vaihtelut

Tavallisin kansipaneelien vaihteleva ominaisuus lienee kansipaneeliaihion levyjen paksuus (kuva 20). Näiden materiaali saattaa parhaimmillaan koostua jopa neljästä tai viidestä eri paksuisesta levystä. Kannen paksuuteen vaikuttavat kansilevyihin kohdistuvat kuormitusvaihtelut ja niiden huomiointi lujuuslaskelmissa.



Kuva 20. Palkitettu kansipaneeli, jossa kahta eri paksuutta olevien levyjen liitoskohta.

3.5.4.2 Aukot

Toinen varsin yleisesti vaihteleva ominaisuus kansipaneeleissa on se, onko niissä aukkoja vai ei. Pääsääntöisesti jokaisessa kannessa on aukkoja. Pienimmillään aukot ovat halkaisijaltaan noin 100–150 millimetriä olevia putkien läpivientejä. Isoimmat aukot ovat useiden kymmenien neliöiden kokoisia. Yleensä ne ovat yleensä kone- tai hissikuiluja, porraskäytäviä tai esimerkiksi ravintola-alueen kansiaukkoja. Aukon sijainnilla on myös merkitystä, eli onko aukko kannen keskellä vai reunassa. Osa kansipaneeleista saat- taakin olla varsin riekalemaisia (kuva 21).



Kuva 21. Kansi, jossa on isoja aukkoja ja reunalla oleva aukko

Kansipaneelin ulkoreunojen polttoleikkauksen yhteydessä poltetaan myös kansipaneelin sisällä olevat aukot valmiiksi. Tavallisesti poistettava levy jätetään vielä tässä vaiheessa kansilevyyn kiinni kannaksien varassa. Normaalisti aukon kohdalla oleva levy poistetaan lohkonkoontivaiheessa.

Hyötynä tässä on se, että aukon ”peittävä” levy tukee rakennetta longien hitsausten sekä kansipaneelin noston ja kuljetuksen aikana. Niissä kansissa, joissa on isoja aukkoja, olisi hyvä, jos lohkonkoontivaiheessa poistettava levyosa voisi olla paikallaan suurlohkon tai rungon koontivaiheeseen saakka tukemassa. Haittapuolena on kuitenkin se, ettei ylimääräisen tukilevyn poistaminen myöhemmissä vaiheissa ole helppoa, etenkin jos yläpuolella on kansi, jolloin nosturia ei voida käyttää levyn pois ottamisessa. (Kuusilehto 2013.)

3.5.4.3 Muut rakenteiden muuttuvat ominaisuudet

Muina kansipaneelien kutistumiin vaikuttavina asioina voisi esille ottaa vielä rakenteiden hitsausten keskeneräisyyden mittaushetkellä (kuva 22). Yhdellä tai kahdella hitaamattomalla jäykistäjällä ei ole vielä paljoakaan merkitystä, mutta sitten kun palkkeja on jo useampi, vaikutuksen merkitys muuttuu. Tästä syystä voisi olla hyvä dokumentoida mittaushetken tilanteet valokuvaamalla, jolloin voidaan jälkikäteen tutkia tilanteet, jos tulokset kertovat jotain poikkeavaa.



Kuva 22. Kansilevyssä olevat aukot vielä avaamatta ja osa palkeista asentamatta

3.6 Tutkimukseen liittyvät mittaukset Turun telakan runkotuotannossa

Turun telakalla useampaan otteeseen käydyissä keskusteluissa on noussut esille nykyisin käytössä olevien kutistumakerrointen oikeellisuus tai sen toteaminen, että kerroin arvot ovat kunnossa. Laajamittainen otanta kutistuma-arvojen keruussa lienee viimeksi tehty noin kymmenen vuotta sitten. Tämän jälkeen on tehty muutamia erillisiä tarkasteluja esimerkiksi eurooppalaisten telakoiden kilpailukykyä turvaavan InterShip-projektin osana, jossa kansipaneelien kutistumia mitattiin fotogrammetriaa apuna käyttäen.

Kerroinaineistoa on kerätty myös lohkonkoontivaiheen mittaryhmän toimesta. Kuitenkaan viimeaikaisissa mittauksissa aineistoa ei ole kyetty keräämään niin systemaattisesti, että aineistoa olisi riittävä määrä analyysiä varten. Riittävän laaja aineisto antaisi kattavan ja luotettavan vastauksen, jolla käytössä olevien taulukoiden tarkkuutta ja oikeellisuutta voitaisiin parantaa laajamittaisen tarkastelun perusteella. Mittaryhmän osallistuminen kerrointen ylläpitoon on tapahtunut lähinnä lohko- ja suurlohkovaiheen loppumittausten suorittamisella ja analyysiin toimittamisella.

Toisaalta on huomattava myös se, että kutistumataulukoiden kertoimet voivat olla aivan oikein ja että esimerkiksi lohkovaiheessa valmistuva lohko voi olla oikeamittainen, kun se siirretään seuraavaan vaiheeseen. Kuitenkin esimerkiksi suurlohkokoonnin päätteeksi tapahtuva rihtaus voi pilata mittatarkkuuden helposti, mikäli rihtaukseen ei suoriteta oikein. Etenkin rihtauksessa, joka perustuu käsityöhön ja rihtaajan silmämääräiseen rihtaustarpeen arviointiin, seurauksena voi olla se, että lohkon-, suurlohkon- ja rungonkoontivaiheen mittatarkkuus menetetään väärin suoritettuna rihtauksen takia. Rihtauksen todellisen kutistumavaikutuksen suuruuden arvioiminen on vaikeaa etenkin siitä syystä, koska sen tekeminen on kokemuksen kautta opittua ja yksilöiden väliset erot saattavat tulla hyvin esille.

3.6.1 Ajoitus

Peruslähtökohta kutistumamittausten teolle on tietenkin se, että telakalla on työtä kyseisessä valmistusvaiheessa, jonka kutistumatietoja halutaan kerätä. Työ voi olla laivan runko-, offshore- tai muiden rakenteiden valmistusta. Olennaista ei ole niinkään se, mitä valmistetaan, vaan se, mistä ja minkäpaksuisesta materiaalista valmistetaan. Toi-

saalta paras tilanne olisi se, että kaiken tekemisen erilainen kutistava vaikutus selvitetäisiin, koska tästä tiedosta voi olla hyötyä tulevien projektien suunnittelussa ja toteutamisessa.

Erillisistä lyhytaikaisista ja pienistä projekteista ei välttämättä saada sopivaa tietoa, etenkin jos valmistusvaiheiden koneet ovat olleet käyttämättä. Tällöin valmistuskoneille saatetaan tarvita huoltoja, säätöjä, kalibrointeja ja tarkastusajoja suoritettavaksi ennen kuin niiden tuotos on tasalaatuista. Isompien valmistuskokonaisuuksien yhteydessä pienten erillisprojektien kutistumien mittaamisessa ei sen sijaan ole ongelmia.

Tähän työhön liittyvä kutistumamittausprojekti ajoitettiin Viking Linen lautan (Viking Grace) hieman ylempien kerrosten kansipaneelien tuotantoajankohdan mukaisesti. Mittausajankohdaksi varmistui tammi-helmikuu 2012. Ajankohta oli sopiva etenkin siitä syystä, että pidemmän hiljaisen jakson loputtua tuotantolinjoilla valmistettiin Gaiamare Oy:lle valmistettavan Meri-laivan rakenteita, joten valmistuslinjoilla mahdollisesti olleet tuotannon alkukankeuteen liittyvät vaikeudet eivät enää vaikuttaneet tässä vaiheessa. Mittausprojektin kesto oli noin kaksi kuukautta. Kaikkien Viking Line-projektiin kuuluvien kansipaneelien teko kesti noin kaksinkertaisen ajan tutkimukseen verrattuna.

3.6.2 Resursointi

Olennaisimpia asioita koko projektin kannalta oli suoritettavien mittauksien resursointi. Alusta alkaen oli selvää, että mittausajankohdan työtilanteesta johtuen telakan omia mittaryhmiä ei voi hyödyntää, koska työ edellyttäisi kutistumien kokoajasta mittaamista. Lohkonkoontivaiheen mittaryhmä on ennestään tehnyt vastaavia mittauksia muiden töiden ohella, mutta keräytyksi saadun aineiston määrä ei ole ollut riittävä suuri, jotta saadut tulokset olisivat olleet tilastollisesti merkittäviä. Lähinnä nämä aiemmat mittaukset on toteutettu varmentamaan polttoleikattujen ja palkitettujen kansipaneelien oikeita mittoja sekä jonkin verran tarkastusmittauksia t-palkeille, laidoille ja laipioille.

Tässä yhteydessä ei myöskään lähdetty siitä, että valmistusvaiheen työntekijät hoitavat mittauksien. Mittausprojektin aikaan kansipaneelilinjalla työskenteli minimimäärä (kolme henkilöä) työntekijöitä, joille ei voitu siten säilyttää ylimääräistä tehtävää. Lähiajan tavoitteena on nostaa linjan henkilökunnan koko neljään henkilöön, mikä myöskään ei vielä mahdollista mittauksien suorittamista linjan omana työnä. T-palkkien, laitojen ja

laipoiden valmistuslinjojen henkilökuntamäärä oli myös niin pieni, ettei mittausta voitu antaa heidän tehtäväkseen.

Tutkimuksessa mittausten suorittamiselle haluttiin ennakkoluuloton asenne ja lähestymistapa. Projektin yhtenä tavoitteena oli myös oppia asioita, jotta ne voidaan tehdä myöhemmissä vastaavissa projekteissa oikein. Siitä syystä tekijäksi valittiin alihankkija, jonka suorittamista teollisuusmittauksista oli jo aikaisemmin saatu kokemuksia.

Edellisellä kerralla, kun kutistumien seuranta tehtiin, mittaukset kansipaneelilinjalla suoritettiin nimetyn henkilön toimesta. Jos kansipaneelin palkituslinjalla olisi työntekijä, jolla olisi työtehtävänään vain ennen ja jälkeen palkituksen tehtävien mittausten suorittaminen, olisi hänellä hyvin paljon vapaata aikaa. (Partanen 2013.)

3.6.3 Mitattavien rakennetyyppien valinta

Mittausprojektin seurantakohteiksi päätettiin valita palkitetut kannet, t-palkit, laidat ja laipiot. Tällä haluttiin varmistaa, että mittausprojektiin palkattu henkilö olisi riittävän hyvin työllistetty. Toisena syynä oli saada kokemusta useassa eri vaiheessa tehdystä kutistumien seurantatyöstä.

Kutistumamittausprojektin päämittauskohteeksi valittiin levyhallissa 5-linjalla oleva 22-metrinen kansipaneelilinja, jota kautta lähes kaikki laivojen kansipaneelit kulkevat (liite 4). Linjan alkupäässä jyrksitään levyjen pitkät sivut ja näistä levyistä kootaan hitsausasemalla kansipaneeliihio. Näin valmistetulle laatalle tehdään merkinnät sekä tarvittavat aukkojen ja ulkoreunojen poltot. Seuraavassa vaiheessa kansipaneeliin hitsataan pituussuuntaiset jäykistävät rakenteet eli longit. Longiväli on tavallisesti 620 ja 645 millimetrin välillä, mihin vaikuttaa, ollaanko CL:ssä eli keskilaivassa vai reunassa eli laidan tuntumassa.

Linjalla valmistettavan paneelin maksimikoko on noin 22 x 28 metriä. Linja toimii normaalisti kahdessa vuorossa. Vuorokaudessa linjalta valmistuu keskimäärin kaksi kansipaneelia, riippuen paneelin koosta, tarvittavasta poltto- ja merkintäpituudesta sekä hitsattavien longien määrästä. Yhden työvuoron aikana asennetaan noin 30 longia. Kansipaneelien mittaukset suoritettiin kahdessa vaiheessa, ensimmäisen kerran kansipaneelin ympärilaiton jälkeen ja toiseen kertaan palkituksen jälkeen. Valmiin kansipaneelin mittauksiin on aikaa noin puoli tuntia.

Koska kansipaneeleita valmistuu tavallisesti vain kaksi vuorokaudessa, yhtä kansipaneelia varten tehdyt mittaukset eivät olisi työllistäneet tarpeeksi alihankkijaa. Paneeleita ei voinut myöskään seisottaa kauan mitattavana, koska myöhemmät työvaiheet odottivat jo seuraavia työkohteitaan. Yhdessä kansipaneelissa olevia mitattavia kohteita ei voinut näin ollen myöskään merkittävästi lisätä. Tästä syystä kansipaneelien rinnalle otettiin mitattavaksi myös t-palkkeja sekä laita- ja laipiopaneeleja.

Perusohje, joka annettiin alihankkijalle mittausten suorittamisesta, oli se, että ensisijaisesti mitataan kansipaneelit, toissijaisesti t-palkkeja ja viimeisenä laita- ja laipiopaneeleja. Näin saatiin muodostettua työohjelma, jota noudattaen lähes koko työpäivän ajaksi oli mitattavia kohteita.

Tämä aiheutti sen, että eri valmistuslinjoilla tehtävät mittaustyöt oli aikataulutettava. Kansipaneelien mittaukset ajoittuivat aamuun, puoleen päivään sekä iltapäivään. Näiden välissä oli mahdollista tehdä muita mittauksia.

T-palkeista valittiin mitattavaksi noin kymmenen metriä pitkiä kappaleita. Tietyn mittaisen palkkien valinnan takia mittaajan oli keskusteltava valmistusvaiheen työnjohtajan kanssa, milloin sopivia rakenteita olisi ensimmäiseen ja toiseen kertaan mitattavissa. Palkkien mittaamisen aloittaminen ei ollut niin yksinkertaista. Silloitetut rakenteet oli yleensä lattialla odottamassa hitsausta ja helposti mitattavissa, mutta hitsatut rakenteet oli tilan ahtauden takia pinottuna (kuva 23).



Kuva 23. Valmiita t-palkkeja pinottuna kuljetusta varten

Pinossa olevia palkkeja ei voinut mitata, ennen kuin ne oli levitetty alustalle. Tästä syystä oli pidettävä tarkasti huolta, että oikeat palkit levitetään ja mitataan, ennen kuin niiden siirtämiselle jatkokoontipaikalle annetaan lupa.

Kuten jo rakenteiden tärkeysjärjestystä suunniteltaessa todettiin, laitojen ja laipioiden kutistumien mittaukset jätettiin viimeiseksi. Tämä johti siihen, että niitä tuli mitatuksi kaikista vähiten. Määrää laski varmasti myös se, että jonkun verran näistä pääsi nemään jo seuraavaan vaiheeseen, ilman että toista mittauskierrosta oli ehditty tehdä. Tätä tapahtui jonkin verran myös kansipaneeleiden ja t-palkkien osalla. Laita- ja laipiopaneeleita mitattiin ennen ja jälkeen palkituksen, aivan kuten kansipaneeleitäkin.

4 Tulosten käsittely

Kutistumamittausprojektin aikana saatiin kerättyä seuraavanlainen aineisto: kansipaneeleita mitattiin 54 kappaletta ennen palkitusta ja 50 kappaletta palkituksen jälkeen. Vastaavat luvut t-palkeista ovat, 60 kappaletta ennen hitsausta ja 42 kappaletta hitsauksen jälkeen. Laita- ja laipiopaneeleita mitattiin 10 kappaletta ennen hitsausta ja seitsemän kappaletta hitsauksen jälkeen.

Kuten jo aikaisemmin todettiin, mittausprojektin ensisijaisena tavoitteena oli tutustua prosessiin ja kerätä mahdollisimman laaja otos kansipaneelien mittaustuloksia ja sen ohella, mikäli aikaa riittää, mitata lisäksi kutistumia t-palkeista, laidoista ja laipioista. Tästä syystä kansipaneeleista saatiin eniten mittausdataa, t-palkeista jonkin verran ja laitoja ja laipioita mitattiin vain vähän. Tästä syystä seuraavissa kappaleissa keskitytään analysoimaan vain kansipaneelien ja t-palkkien mittaustuloksia.

4.1 Virheellisten ja puutteellisten havaintojen poistaminen

Jotta kansipaneeliaineistoa (liite 8) voidaan analysoida, on mittaustuloksista poistettava puutteelliset ja virheitä sisältävät mittaustulokset, jos kyseisiä viallisia mittaustuloksia ei saada täydennettyä käyttämällä apuna kansipaneelin työkuvia, valokuvia työkohteesta tai esimerkiksi mittauksen aikana tehtyjä muistiinpanoja. Näitä puutteita ovat mm. seuraavat asiat:

- Toisen mittauskierroksen mittaustulokset puuttuvat.

- Mittauksen lisätiedot ovat puutteellisia (esimerkiksi ainevahvuus ja longiväli).
- Mittaustuloksissa on kirjaamisvirheitä.
- Paljon palkkeja on hitsaamatta mittaushetkellä.
- Katko- ja jatkuvaa hitsiä on sekaisin.

Näiden lisäksi tulee miettiä, kuinka mittaustulosten analysoinnissa suhtaudutaan kansipaneeleihin, joissa

- yksittäinen levy tai alue on huomattavasti paksumpi kuin muun kannen alue
- isokokoisia aukkoja on kannessa joko keskellä tai reunassa
- kannessa on paljon reikiä
- kansirakenteet ovat "riekalemaiset"
- longivälit ovat poikkeukselliset
- kansirakenteet ovat eritasossa.

Hyvällä etukäteissuunnittelulla yllä olevat ominaisuudet voisi olla mahdollista tunnistaa suunnittelu- ja työkuvista ennen palkittamattoman kansipaneelin mittauksia, jolloin nämä tapaukset voisi jättää mittaamatta. Osa listassa mainituista asioista, kuten eritasokansien tai poikkeuksellisten longivälien vaikutukset, voisi olla mahdollista tutkia, mikäli niistä saataisiin riittävästi mittaustuloksia.

4.2 Luokittelu

Kansipaneelien mittauksista kerätty ja virheistä sekä puutteista siivottu aineisto voidaan luokitella useamman eri muuttujan mukaisesti. Nykyisessä kutistumakerrointaulukossa kansipaneelien kutistuma-arvot on luokiteltu levymateriaalin keskimääräisen paksuuden ja hitsaustyyppin mukaan. Muita mahdollisia luokitteluparametrejä ovat

- kannen levymateriaalin paksuus painotettuna pinta-alan suhteellisella osuudella
- kannen levymateriaalin mediaanipaksuus
- kanteen hitsattujen palkkien lukumäärä.

T-palkkien kutistuma-arvot on luokiteltu uumalevyjen paksuuden perusteella. Kertoimen tarkkuutta voisi parantaa ottamalla kutistuma-arvoissa huomioon lisäksi laippalevyyn koon vaikutus.

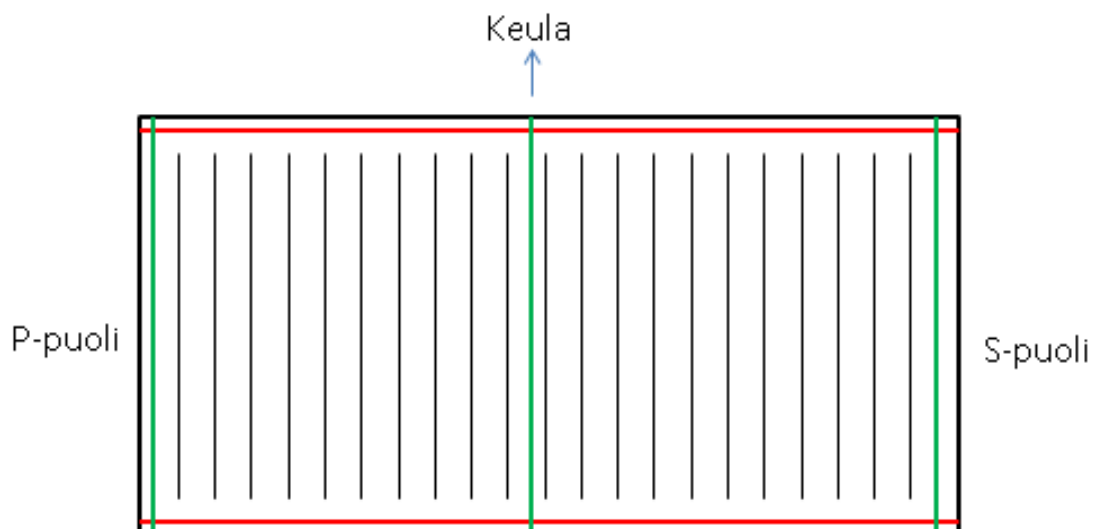
5 Havaintoja tehdyn tutkimuksen perusteella

5.1 Mittaajan tekemät havainnot

5.1.1 Kansilakanoiden kutistumien mittaus 5-linjalla

Mittamieheltä projektin päätteeksi saadut kommentit kansilakanoiden mittauksen parannuskohteista.

- Mittauksia ei reunasta reunaan, vaan mittauskohdat valittava siten, että magneetti on mahdollista kiinnittää hyvin ilman, että poltosta aiheutuneet polttopurseeet ja epätasaisuudet estävät ja heikentävät magneetin tarttumista. Magneetit on lisäksi hyvä laittaa niin, että ne kiinnitetään mitan tyhjälle kohdalle, sillä ennen pitkää ne kuluttavat mitan lukukelvottomaksi (kuva 12).
- Mitta ja mittaussuunta aina samaan suuntaan. Nollakohta aina alkupään piirto-
puikkomerkinnän kohdalle. Näin mitan lukema kirjattavissa loppupäässä.
- Jos kansi roikkuu, mitan tulisi olla mahdollisimman lähellä levypintaa.
- Pituussuuntaisen kutistuman mittaus myös kannen puolivälistä (kuva 24). Kutistuma keskeltä lakanaa on varmastikin suurinta. Nyt mitataan vain reunoista, joten keskikohdan kutistumat jäävät toteamatta. Tällöin olisi mahdollista verrata myös, miten paljon on sijainnilla on merkitystä kutistumiin.



Kuva 24. Mittauslinjat, joissa on ehdotettu kannen keskikohdan pituuden mittauskohta

- Poltto-ohjelmaan ja kuviin voisi merkitä valmiiksi mittapaikkamerkit, jotka on merkattu valmiiksi sellaisiin paikkoihin, joiden väliltä halutaan mittaustulos. Merkeistä voisi myös tarkastaa mahdolliset poikkeamat polttokoneen toiminnassa ja tarkkailla rungon elämistä myöhemminkin. (Simola 2012.)

5.1.2 T-palkkien mittaus

Mittamieheltä projektin päätteeksi saadut kommentit t-palkkien mittauksen parannuskohteista.

- Latan paksuus sekä sen asema uumaan nähden vaikuttavat kutistumaan.
- Latan ja uuman mittauskohdat on valittava siten, että mitta saadaan magneetilla kiinni.
- Mahdollinen palkissa oleva isompi vääntymä on oikaistava ennen toista mittaukskertaa, jotta mitta on saatavissa suoraksi.
- Palkit tulisi merkitä siten, että oikaisun kohdalla nähdään, että palkki tulee mitata uudestaan.

Materiaalia menee linjalta melko paljon, joten mittauspaikan tulisi olla sellainen, että palkkia pääsisi kääntelemään noin 15 minuutin ajan. Mittaaja pystyy kääntelemään kappaletta, mikäli kyseessä on yksittäinen palkki ja mittaajalla on sopivat apuvälineet käytössään.

- Palkkien materiaalivirta kulkee edestakaisin samojen ovien kautta. Olisi parempi, jos materiaali kulkisi toisesta päästä sisään ja toisesta ulos. Tapaturmariski on melko suuri, kun työskennellään trukkien ja nostureiden liikkumisalueella. (Simola 2012.)

5.1.3 Laitojen ja laipioiden mittaus 11-hallissa

Mittamieheltä projektin päätteeksi saadut kommentit laitojen ja laipioiden mittauksen parannuskohteista.

- Mittauspaikka pitäisi merkitä lakanan reunaan siten, että mittaus voidaan suorittaa laita- tai laipiolevyn kummalta puolelta tahansa.
- Symmetrisissä kappaleissa on huolehdittava, että ylä- ja alareunan tai vasemman ja oikean puoleiset mittauskohdat eivät mene sekaisin. Kappaleet saattavat kääntyä puolelta toiselle mittausten välillä.
- Mittauspaikkamerkinnot olisi hyvä tehdä laita- ja laipiolevyihin jo nestausvaiheessa. (Simola 2012.)

5.2 Pohdintaa

Mittaustulosten analysoinnin aluksi tuli selväksi, että kaikkien eri mittaushaarojen kutsutut mittausaineistoa saatiin kerättyä liian vähän. Tämä esti analysoinnin ja nykyisten kertomien päivityksen. Olennaisinta projektin lopputuloksen kannalta ovat nyt tehdyt havainnot, jotka antavat suuntaviivoja myöhempien mittausten suunnittelulle ja suorittamiselle.

Kansipaneelien osalta aineistoa ei olisi saatu riittävästi analysoidavaksi, vaikka mittausprojektin kestoajaksi olisi ollut kaksinkertainen tai se olisi sisältänyt kaikkien Viking Line projektin kansipaneelien mittauksen (liitteet 8 ja 9). Mittaustuloksista esille tuli hienoa yllätyksenä se, että osassa kansipaneeleista niiden paksuus vaihtelee varsin paljon. Toinen uusi asia oli se, että valtaosassa paneeleista hitsaukset on suoritettu sekä jatkuvalla että katkohaitsauksella. Näiden tekijöiden seurauksena oli se, että 50 suoritusta kansipaneelin mittauksesta jäi 13 kappaletta analyysiin kelpaaviksi.

Tulevissa tehtävissä kutsutut mittauksissa on keskityttävä ennakoivalmisteluihin paremmin. Tällöin tutkitaan ennakkoon mittaukseen sopivat kansipaneelit, joissa käytetään vain yhtä hitsaustyyppiä ja kannen paksuus on oltava riittävän tasalaatuinen. Palkkien mittausaikataulua suunniteltaessa voidaan hyödyntää osaltaan lohkovalmis-

tuksen ohjelmaa (liite 10), jonka pohjalta mittausten alustavaa aikataulua voisi suunnitella.

T-palkkien mittauksista aineistoa (liite 11) kertyi huomattavasti helpommin kuin kansien osalta. Lyhytkestoisella ja intensiivisellä palkkien mittauksella olisi varsin nopeasti ja helposti saatavissa riittävästi havaintoja. Palkkien mittauksissa haastavaksi muodostuu, se että toista mittauskertaa varten palkkien on oltava uudelleen levitettynä lattialle. Tämä vaatii runsaasti tilaa niiden kääntämiseen.

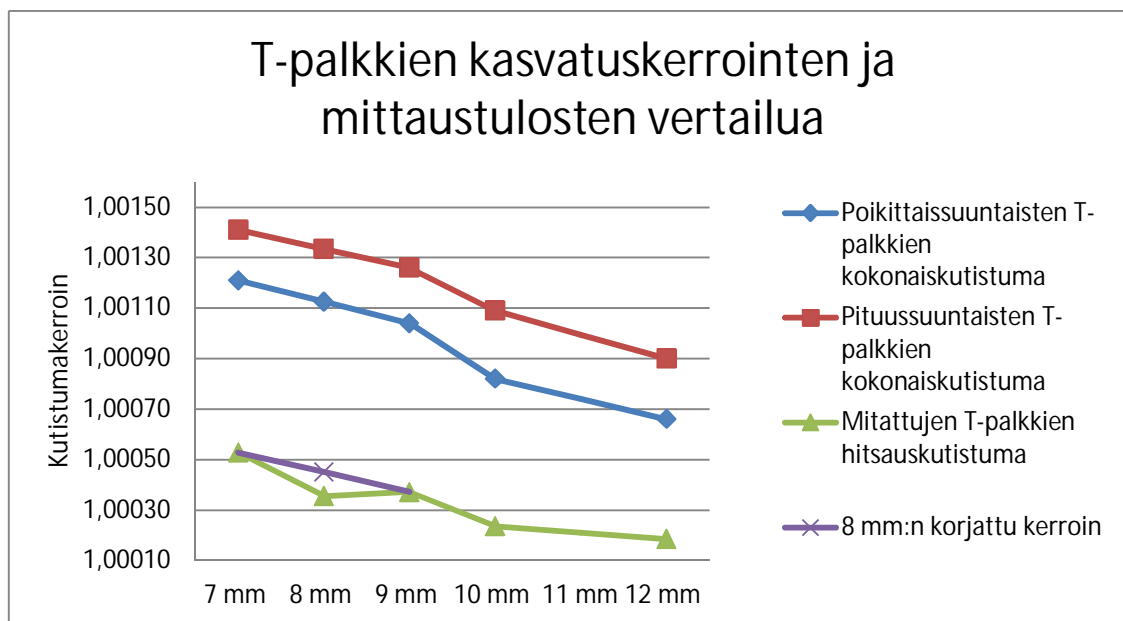
Eri työvaiheiden päätteeksi palkit on pinottava kuljetusalustalle osittain työpisteen tilanpuutteen takia. Palkkien pinoaminen ja levittäminen on turhaa työtä, joka olisi ehkä es-tettävissä sillä, että palkkien mittaaja olisi koko ajan paikalla mittauksia suorittamassa. Toinen merkittävä asia on työturvallisuus. Tärkeää on huomioida, että mittausalueella tehtävien hitsaus- ja asennustöiden ohella siellä liikkuu myös nostureita ja trukkeja kuormineen.

T-palkkien koontihitsauksista saatujen mittaushavaintojen analysoinnin jälkeen niistä laskettiin uumalevyn paksuuksia kohden kutistumakertoimet. Taulukon 1 arvot ovat melko loogiset lukuun ottamatta 8 millimetrin uumalevyä, jossa kerrointen arvot jäävät selvästi liian pieniksi.

Taulukko 1. T-palkkien kutistumamittaustulokset koontihitsauksen jälkeen

Uumalevyn paksuus	Kerroin
7 mm	1,00053
8 mm	1,00035
9 mm	1,00037
10 mm	1,00024
12 mm	1,00018

Tässä projektissa mitattujen t-palkkien kutistumamittaustuloksia verrattiin nykyisin käytössä olevan hitsauskutistumien kompensointitaulukon jäykkääjien pituus- ja poikittaissuuntaisiin kerroinaineistoon (liite 3). Tehtyjen havaintojen ja taulukon arvojen perusteella piirretyt käyrät (kuva 25) näyttäisivät seuraavan toisiaan melko hyvin, lukuun ottamatta 8 millimetrin arvoa. Käyrän arvo on korjattu laskemalla keskiarvo 7 ja 9 millimetrin arvoista.



Kuva 25. Kutistumamittaustulosten vertailu nykyisen taulukon arvoihin

Eroon taulukon ja mittausten arvojen välillä selittänee myös se, että mitattujen t-palkkien määrä jäi vähäiseksi. Muutaman kymmenen oikein valitun t-palkin mittausten avulla saataisiin todennäköisesti melko identtinen kutistumakäyrä, mikä on piirretty nykyisen taulukon arvoista.

6 Yhteenveto

Tämän mittausprojektin aikana tutkittiin eri valmistuslinjojen kutistumakerrointen määrittelyä varten tehtävien mittausten toteuttamista. Mittauskohteiksi valittiin kolme laivan osia tuottavaa valmistuslinjaa, joilla valmistetaan lohkonkoonnin kannalta tärkeimmät laivanrakennuksen perusosat. Mittaukset suoritettiin alihankkijan toimesta.

Erilaisten mittausresurssien sopivuuksia arvioitaessa havaittiin, että mitattavien kappaleten määrällä ja mittausprojektin kestolla on merkitystä, milloin kannattaa käyttää alihankkijaa ja milloin omaa henkilökuntaa seurantamittausten tekemisessä. Lyhyissä paljon ja mittaamisia sisältävissä projekteissa kannattaa käyttää alihankkijaa tai erikseen määriteltä omaan henkilökuntaan kuuluvaa työntekijää.

Pidempikestoissa projekteissa ja vähemmän mittauksia sisältävissä projekteissa mittaukset onnistunevat myös esimerkiksi linjan tai työpisteen henkilökunnan voimin. Vainkutusta on myös sillä, tehdäänkö töitä useammassa vuorossa tai pelkästään päivätyö-

nä. Jokainen kutistumienmittausprojekti täytyy tarkastella erikseen ja päättää sen pohjalta resursoinnit. Resursoinnin tärkein määräävä tekijä on mittauksen henkilökustannuksiin käytettävän rahamäärän suuruus.

Parhaimpana mittausvälineenä t-palkkien, laitojen, laipoiden ja kansipaneelien mittauksissa toimii kalibroitu 30 metrin mitta. Mitan paras ominaisuus on se, että pintaa pitkin mitattaessa sillä saadaan varsin totuuden mukaiset mittaustulokset rakenteista, joissa voi olla tasomaisuus poikkeamaa. Tämän lisäksi mitan käyttäminen ei edellytä perehdytystä kummempaa koulutusta, kuten takymetrillä mittaaminen. Käytettävän mitan kunnosta ja kalibroinnin voimassa olostä on kuitenkin huolehdittava.

Eri mittauksia suoritettaessa on hyvä pyrkiä kirjaamaan kaikki mahdolliset kappaleisiin liittyvät tiedot, joita ovat esimerkiksi: mittauspäivämäärä, -paikka, -lämpötila, palkkien määrä ja työnjohtaja. Tämän lisäksi mitatuista rakenteista kannattaa tallentaa myös paperilla olevat materiaalit kuten osalistat, työkuvat ja polttokartat. Valokuvan ottaminen mittaushetken tilanteesta voi antaa myös vastauksia, kun täydennetään puuttuvia tietoja tai kun tarvitaan selittäviä tietoja mittaustuloksia analysoitaessa.

Aineiston keräämisessä on oltava valppaana koko ajan, jotta kaikki tarvittava tulee mitatuksi. Osa rakenteista tulee nopeammin valmiiksi kuin toiset. Toisaalta jokin odottamaton asia, esimerkiksi hitsauskoneen rikkoutuminen, voi viivästyttää mitattavan kappaleen valmistumista. Jotta kaikki olennainen tieto saadaan talteen, on päivittäin oltava selvillä valmistusaikataulusta eri vaiheissa, joissa mittauksia suoritetaan.

Tärkeimpänä havaittuna asiana on se, että kutistumamittauksiin kuluu enemmän aikaa, kuin ennakolta on arvioitu. Syynä tähän on se, että osa mitattavien valmistuslinjojen tuotteista oli rakenteeltaan sellaisia, että niitä ei voinut ottaa mukaan analyysiin. Osa analysoinnin ulkopuolelle jätettävistä rakenteista voidaan päättää etukäteen. Kutistumien mittaaminen vaatii enakkosuunnitelman, jonka avulla voidaan huolehtia, että mittausten kannalta kaikkien olennaisten kappaleiden osilta mittaukset tulevat tehdyksi. Tässä projektissa 50 mitatusta kansipaneelistä kelvollisia havaintoja analysointia varten oli 13. Vastaavat luvut t-palkkien osalta olivat 50 mitattua ja 28 analysoitavissa olevaa rakennetta.

Kutistumamittausten suorittaminen on tärkeää työtä valmistustarkkuuden ylläpitämisen kannalta. Seurantaa on panostettava riittävästi resursseja. Tämän lisäksi tekemisen

edellytykset on luotava niin yrityksen johdon kuin kutistumamittausten kohteena olevien valmistuslinjojen henkilökunnan puolesta.

Kutistumamittausten suorittamisen ideaaliprosessi muodostuu seuraavista tekijöistä:

- hyvin suunnitellusta mittausaikataulusta ja -ohjelmasta
- joustavuudesta mahdollisissa muutostilanteissa
- riittävästä projektin toteuttamiseen tarvittavista resursseista
- osaavista ja motivoituneista prosessiin osallistuvista työntekijöistä
- tuesta ja ymmärtämyksestä yrityksen henkilöstön eri hierarkiatasoilla
- mittaukset työhön sopivalla ja kalibroidulla mittavälineellä
- saman mittavälineen käyttämistä kaikissa saman valmistuspisteen mittauksissa
- saman mittaustavan ja mitan lukemistavan käyttämisestä
- mahdollisimman tarkkojen tietojen keräämisestä jokaisesta mittauksesta
- mittausaineiston huolellisesta analysoinnista.

Tulevien kutistumamittausprojektien parempaa onnistumista varten on asiaan liittyen tehty ehdotus työohjeesta kutistumamittausten suunnittelusta ja suorittamisesta. Työohje-ehdotus on esitetty liitteessä 12.

Lähteet

Kirjalliset lähteet

Andersson, Paul. Tikka, Heikki. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. Porvoo. Werner Söderström Osakeyhtiö.

Aumala, Olli. 2001. Mittaustekniikan perusteet. Helsinki. Oy Yliopistokustannus/Otatieto.

Det Norske Veritas, Rules for Ships, January 2011. 2011. Pt.3 Ch.1 Sec. 11. Welding and welding connections.

InterShip-projektin mittausesimerkkejä. 2006. Sisäinen raportti.

Karhunen, Pekka. 1993. Lohkovalmistuksen hitsauskutistumat. Insinööriyö. Turun teknillinen oppilaitos. Koneosasto, Laivanrakennustekniikka. Turku.

Karppi, Risto. 1979. Hitsausmuodonmuutoksien suuruuden ennustaminen. Espoo: VTT offsetpaino.

Kume, Hitoshi. 1989. Laadun parantamisen tilastolliset menetelmät. Helsinki: Metalliteollisuuden Keskusliitto.

Kuusilehto, Jari. 2004. Runkosuunnitteluohje, L-351, Kutistumien hallinta. Q-CR-351-004 ver. 1. Sisäinen ohje.

Laine, Tapio. 2004. Runkosuunnitteluohje, L-352, Kutistumien hallinta. Q-CR-352-003 ver. 1. Sisäinen ohje.

Laine, Tapio. 2005. Selvitys, Ylimitta- ja työvarakäytäntö, kutistumat ja merkinnät piirustuksessa (Tku, Rauma ja Hki). Sisäinen ohje.

Pettinen, Reijo. 2006. Hitsauksen materiaalioppi: Orivesi: Oriveden Kirjapaino.

Ranska voitti: Turun telakka ei saanut miljarditilausta. 2012. Verkkodokumentti. Tekniikka&Talous.

<<http://www.tekniikkatalous.fi/talous/ranska+voitti+turun+telakka+ei+saanut+miljarditilausta/a867003?service=mobile&page=3>> Luettu 19.2.2013.

Reijonen, Marko. 2010. Työohje. Pitkien mittojen tarkastus ja kalibrointi runkotuotannossa. Q.TKU.C.R.023. Sisäinen ohje.

Reijonen, Marko. 2011. Työohje. Optisten mittalaitteiden tarkistus ja kalibrointi. Q.AFY.C.R.733. Sisäinen ohje.

Storch, R. Hammon, C. Bunch, H. Moore, R. 1995. Ship production. 2nd ed. New Jersey. USA: Cornell Maritime Press.

STX Finland in brief. 2012. Verkkodokumentti. STX Finland Oy.

<<http://www.stxeurope.com/sites/Finland/about/Pages/default.aspx>> Luettu 8.4.2012.

STX Finland ja TUI Cruises allekirjoittivat risteilijätalauksen. 2011a. Verkkodokumentti, Intranet, EI JULKINEN. STX Finland Oy. 27.9.2011. Luettu 19.2.2013.

STX Finlandille merkittävä offshore alihankintatyö. 2011b. Verkkodokumentti, Intranet, EI JULKINEN. STX Finland Oy. 12.10.2011. Luettu 19.2.2013.

Taskinen, Taneli. 2010. Laivan lohkojen mittatarkkuuden varmistamisen menetelmät. Diplomityö. Aalto-Yliopiston Teknillinen Korkeakoulu, koneenrakennustekniikan laitos. Helsinki.

Tuotannonaloituksesta ja toisen risteilijän tilauksesta. 2012. Verkkodokumentti, Intranet, EI JULKINEN. STX Finland Oy. 5.11.2012. Luettu 19.2.2013.

Suulliset lähteet

Hänninen, Harri. 2011. QA/QC Engineer. STX Finland Oy. Turku. Keskustelu 28.9.2011.

Jalava, Pekka. 2013. Mittatarkastaja. STX Finland Oy. Turku. Keskustelu 20.2.2013.

Järvinen, Harri. 2013. Projektikoordinaattori. STX Finland Oy. Turku. Keskustelu 28.2.2013.

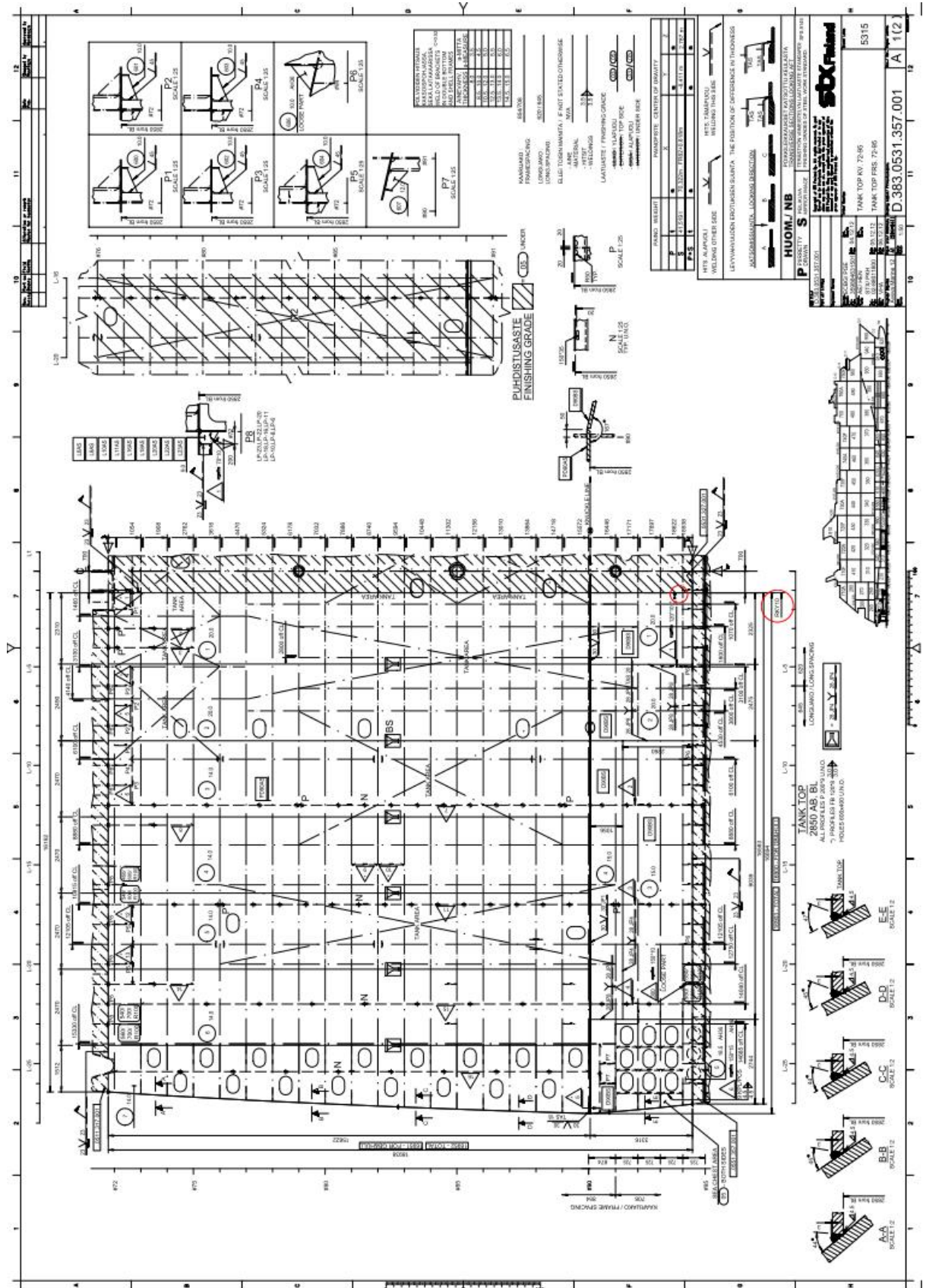
Kontkanen, Tuomo. 2013. Hitsausinsinööri. STX Finland Oy. Turku. Keskustelu 28.2.2013.

Kuusilehto, Jari. 2013. Projektin runkopäällikkö. STX Finland Oy. Turku. Keskustelu 15.2.2013.

Laine, Tapio. 2012. Design Coordinator. STX Finland Oy. Turku. Keskustelu 15.10.2012.

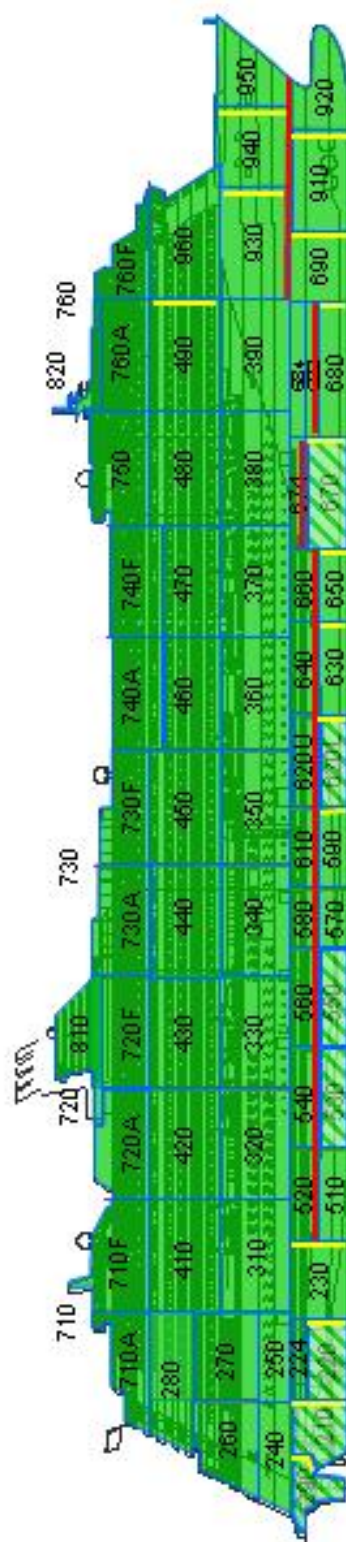
Partanen, Jussi. 2013. Työnjohtaja. STX Finland Oy. Turku. Keskustelu 1.3.2013.

Simola, Matti. 2012. Mittamies. Naali Oy. Turku. Keskustelu 9.3.2012.



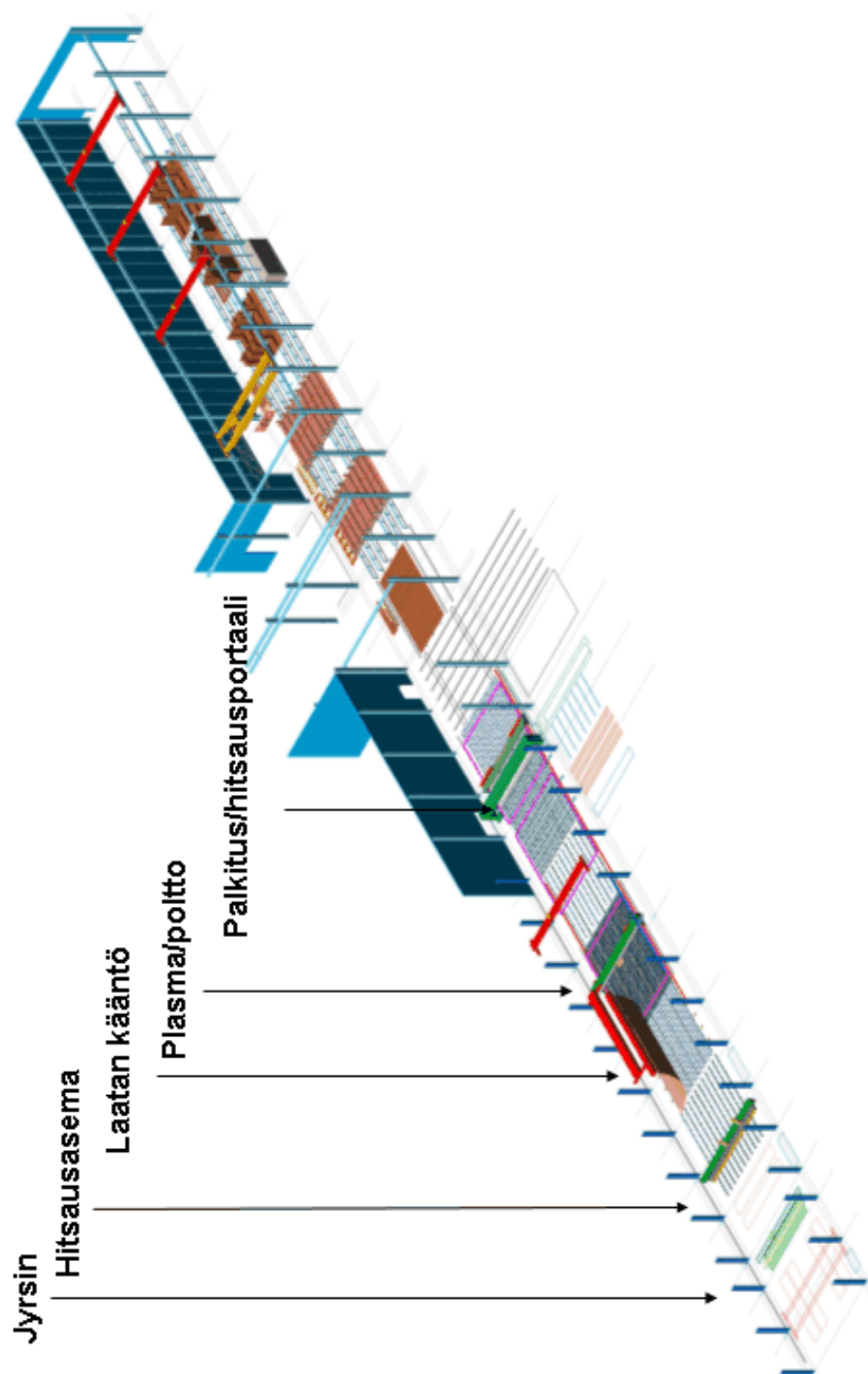
STX Finland Oy
MTR / 17.9.2012

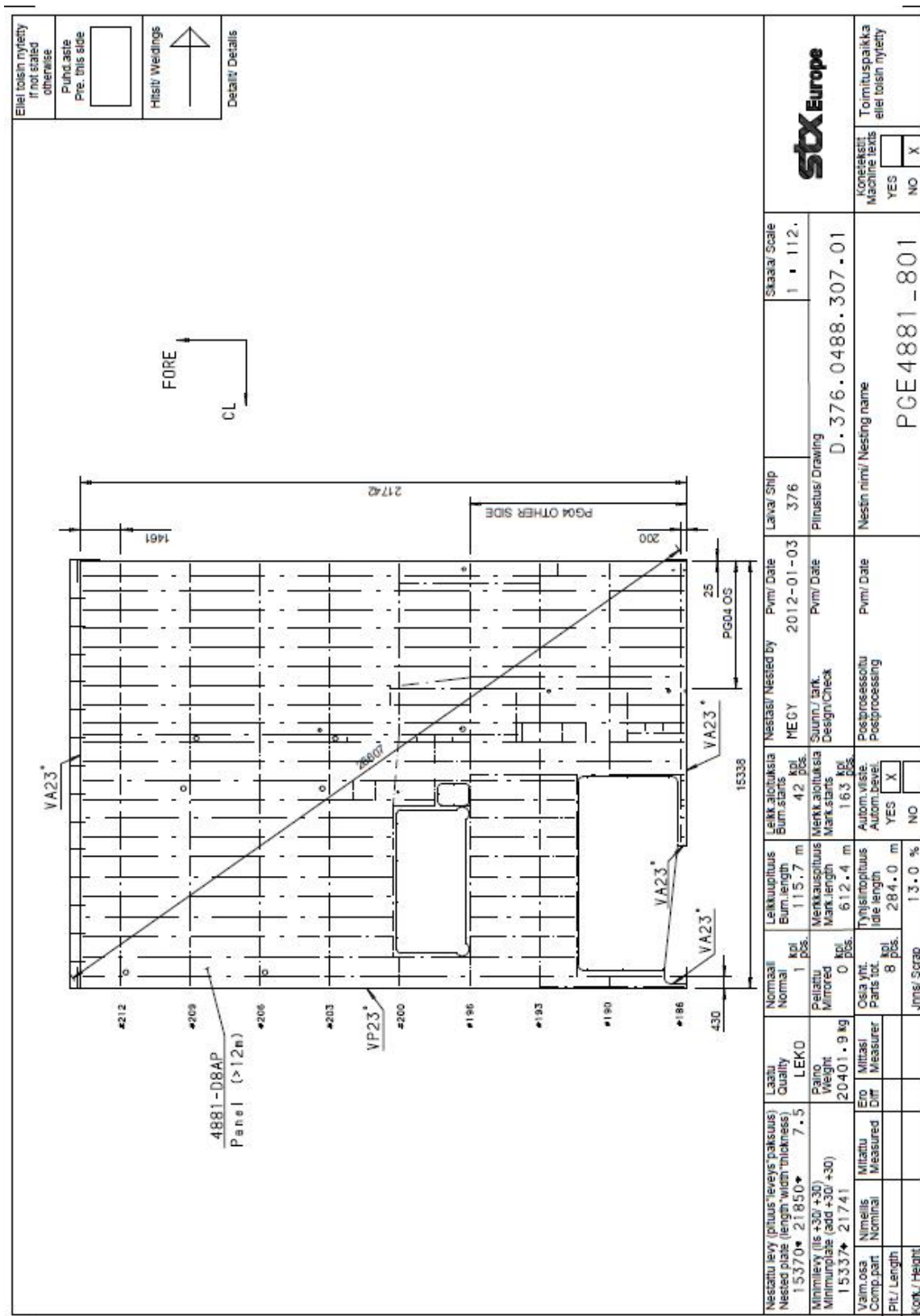
Ylimitat / Over lengths (with bevel)

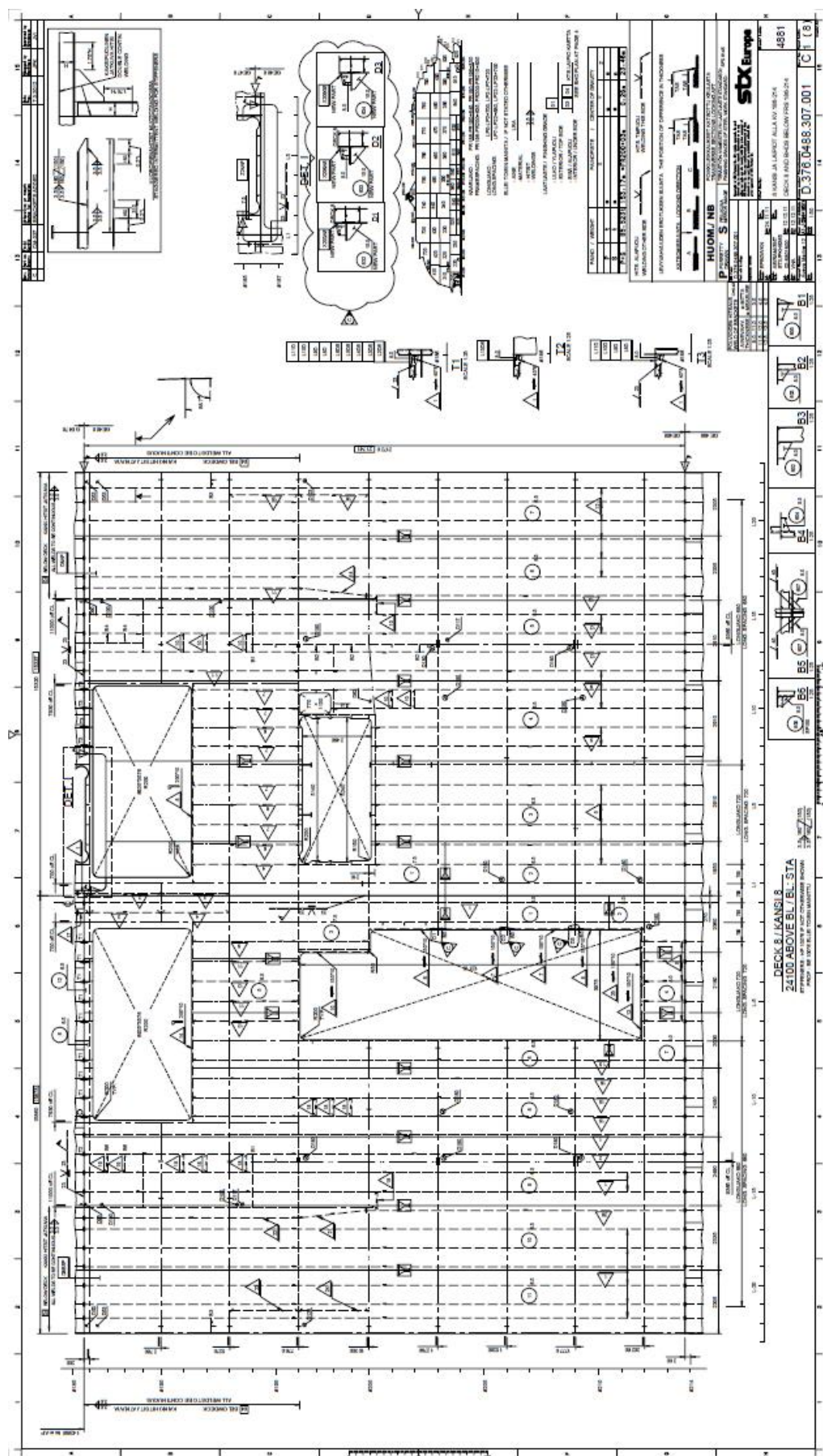


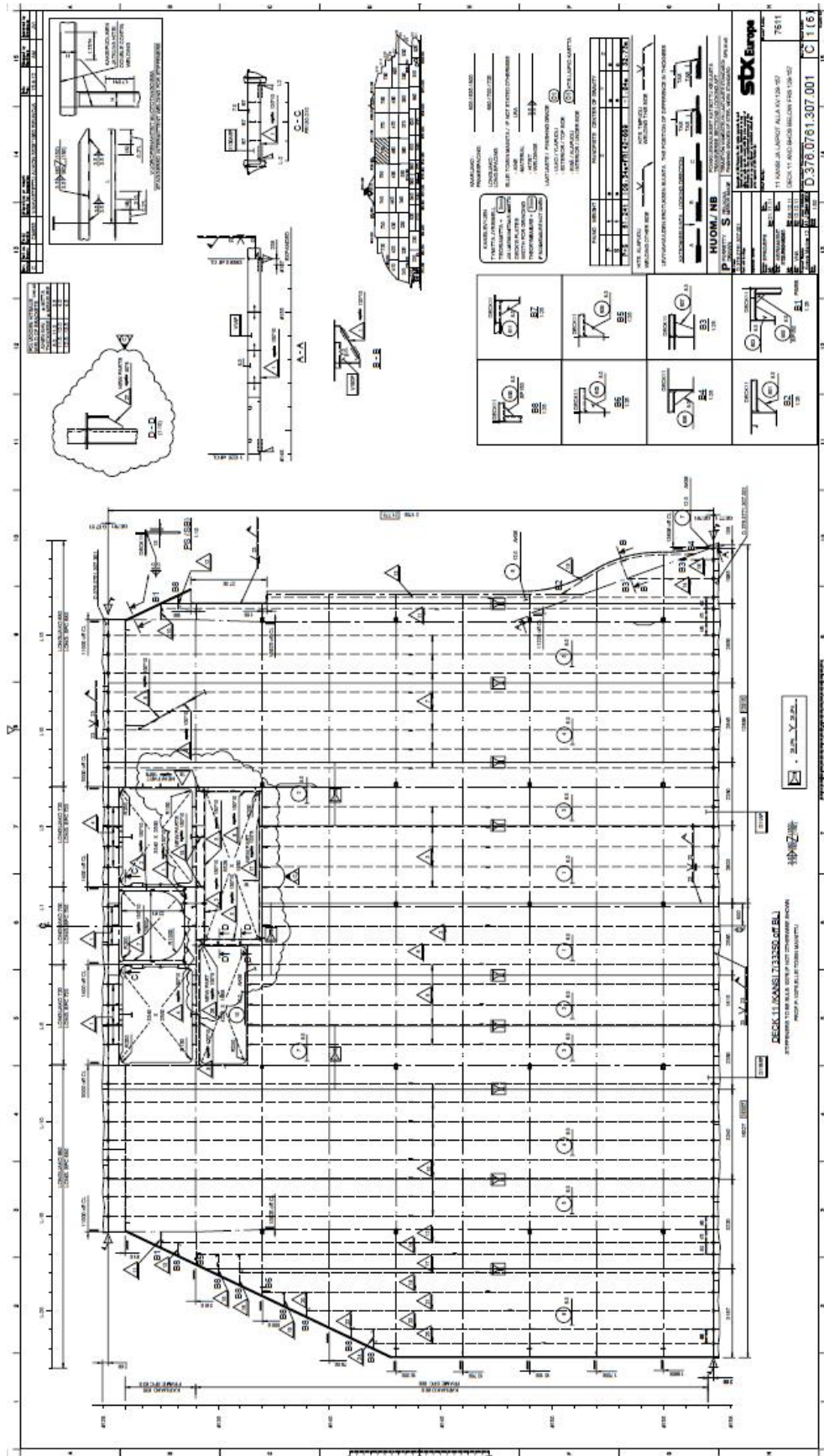
- Korkeussuunnan ylimita 10 mm / Over length (with bevel) in height 10mm
 Suurlohkkoissa / In grand blocks: 520, 540, 560, 580, 610, 620U, 640, 660, 674, 683, 680, 690, 910, 930, 940 & 950
 Laidan alareunaan. On bottom edge of shell plate
 Poistetaan rungonkoonnissa. To be removed in hull assembly
- Pituussuunnan ylimita 10 mm / Over length (with bevel) in length 10 mm
 Suurlohkkoissa / In grand blocks: 290, 210, 220, 230, 590, 620L, 630, 650, 670, 680, 690, 910, 930, 940 & 490
 Kaikkiin rakenteisiin, keulapäähän. In all structures, on fore edge
 Poistetaan rungonkoonnissa. To be removed in hull assembly
- Leveys suunnan ylimita 10 mm / Over length (with bevel) in breadth 10 mm
 Suurlohkkoissa / In grand blocks 290, 210, 220, 530, 550 620L & 670
 Kaikkiin rakenteisiin S-puolen CL-saumassa. In all structures on CL - edge on S-side
 Poistetaan rungonkoonnissa. To be removed in hull assembly

leveyskerroin, jatkuva hitsaus Factor for width, continuous weld			leveyskerroin, katkohitsaus Factor for width, staggered weld		
paksuus / thickness	kerroin / factor	L-koonnin jälkeen / After block assembly	paksuus / thickness	kerroin / factor	L-koonnin jälkeen / After block assembly
5,5 - 6,0			5,5 - 6,0		
6,5 - 7,5			6,5 - 7,5		
8,0 - 9,5			8,0 - 9,5		
10,0 - 11,5			10,0 - 11,5		
12,0 - 14,0			12,0 - 14,0		
14,5 - 17,0			14,5 - 17,0		
17,5 - 19,5			17,5 - 19,5		
20,0 - 23,0			20,0 - 23,0		
23,5 -			23,5 -		
pituuskerroin, jatkuva hitsaus Factor for length, continuous weld			pituuskerroin, katkohitsaus Factor for length, staggered weld		
paksuus / thickness	kerroin / factor	L-koonnin jälkeen / After block assembly	paksuus / thickness	kerroin / factor	L-koonnin jälkeen / After block assembly
5,5 - 6,0			5,5 - 6,0		
6,5 - 7,5			6,5 - 7,5		
8,0 - 9,5			8,0 - 9,5		
10,0 - 11,5			10,0 - 11,5		
12,0 - 14,0			12,0 - 14,0		
14,5 - 17,0			14,5 - 17,0		
17,5 - 19,5			17,5 - 19,5		
20,0 - 23,0			20,0 - 23,0		
23,5 -			23,5 -		
kerroin, jatkuva hitsaus Factor, continuous weld			kerroin, katkohitsaus Factor, staggered weld		
paksuus / thickness	kerroin / factor		paksuus / thickness	kerroin / factor	
5,5 - 6,0			5,5 - 6,0		
6,5 - 7,5			6,5 - 7,5		
8,0 - 9,5			8,0 - 9,5		
10,0 - 11,5			10,0 - 11,5		
12,0 - 14,0			12,0 - 14,0		
14,5 - 17,0			14,5 - 17,0		
17,5 - 19,5			17,5 - 19,5		
20,0 - 23,0			20,0 - 23,0		
23,5 -			23,5 -		





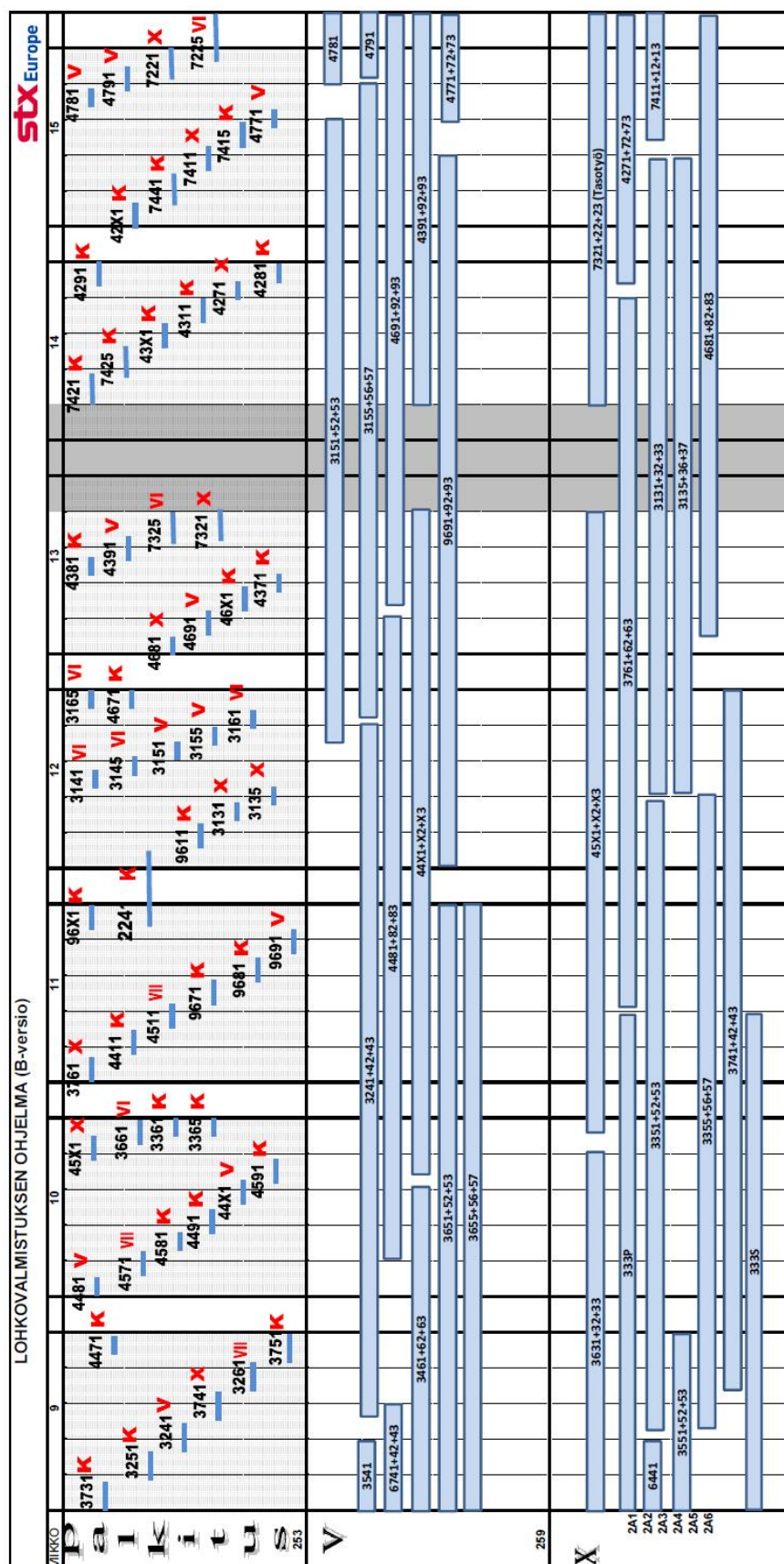




PV	Ko	Lampotila poltin jalk.	Lampotila poltuksen jalk.	Mittalaitte	Lahjo/ Ship	Lakaneenro.	Keskiv. paksuus laialle	Kpl	Bulb/ Palkki	Elaissys sisipuoli	CL-L kultuma/1000mm	K/J	Elaissys ulkupuoli	Bulb/ Palkki	Elaissys ulkupuoli	Bulb/ Palkki	Elaissys sisipuoli	K/J	L- kultuma/1000mm	K/J	Elaissys ulkupuoli	Bulb/ Palkki	Elaissys sisipuoli	K/J	Fore # kultuma/1000mm	Elaissys	K/J	# Kultuma / 1000mm
1 9.1.2012		N.11	N.10			5111-PD08SP	11,4	1			-0,15072699							15	-0,09804828					15	-0,09804828			-0,09804828
2 10.1.2012		N.11	N.11			5111-PD06AP	13	1			-0,060074692							15	-0,07899684					15	0			-0,197714534
3 10.1.2012		N.11	N.11			4481-PD08P	7	1	B		-0,092708478	K	530	B				15	-0,028038169					15	-0,028038169			-0,09346679
4 11.1.2012		N.11				4481-PD08AP	6,5	6	B		-0,139078835	K	200	B				15	-0,092702462					15	-0,082702462			-0,06361708
5 12.1.2012		N.11	N.11			3361-PD06S	8,3	3	B		-0,08289201	J	440	B				15	-0,04634516					15	-0,142991778			-0,130144786
6 11.1.2012		N.11	N.11			3361-PD06P	8,1	2	B		-0,27723459	J	90	B				15	-0,069771266					15	-0,01829401			-0,1455369
7 12.1.2012						4671-D7ASP	6	1	B		-0,185652393			B				15	-0,138718702					15	-0,036308184			-0,009132253
8 12.1.2012						4671-D7BS	6	2	B		-0,023117111			B				15	-0,083448461					15	-0,094201875			-0,01889483
9 11.1.2012						4491-PD08AP	6,1	5	B		-0,18483432			B				15	-0,013848178					15	-0,121988019			0
10 16.1.2012						4481-D8ASP	6	3	B		-0,19904629			B				15	-0,0923475					15	-0,108394172			-0,04580976
11 16.1.2012						4681-D8BS	6	4	B		0			B				15	0,069249667					15	-0,098212532			-0,09786651
12 17.1.2012						3361-PD08AP	8	1	B		-0,181131294			B				15	-0,119145057					15	-0,06973987			-0,10466158
13 17.1.2012						3361-PD06S	6,5	7	B		-0,103820598			B				15	-0,166088816					15	0			-0,143745283
14 18.1.2012		N.10	N.10			4491-D9ASP	7	2	B		-0,11589556	K	245	B				15	-0,2081475					15	-0,13805246			-0,020089734
15 18.1.2012		N.10	N.10			4691-D8BS	7	3	B		0,03248682	K	445	B				15	0,0328312					15	-0,112059589			-0,032945673
16 19.1.2012		N.10	N.10			4771-D7ASP	6,5	8	B		-0,013750008	K	110	B				15	-0,365956963					15	-0,060271826			-0,09212345
17 19.1.2012		N.10	N.10			4771-D7BS	6,5	9	B		-0,05992024	K	435	B				15	-0,397141522					15	-0,062503906			-0,03889897
18 23.1.2012		N.10	N.10			4781-D8BS	7,5	6	B		-0,022974757	K	445	B				15	0					15	-0,098769177			-0,078978544
19 24.1.2012		N.10	N.10			3471-PD08AP	5,9	4	B	345	-0,09273771	K		B				15	-0,217587556					15	-0,159124118			0,059730611
20 25.1.2012		N.10	N.10			3351-PD08AP	7	4	120	350	-0,216786668	J	350	120				15	-0,30002308					15	-0,316538446			0,206391249
21 25.1.2012		N.10	N.11			3351-PD08S	7	5	120	345	-0,20722667	J	345	120				15	-0,267700545					15	-0,144602704			-0,057823523
22 26.1.2012		N.10	N10.5			2321-D2AP	8,6	4	180	350	-0,221989001	J	350	160				15	-0,330638132					15	-0,050557943			-0,05027653
23 27.1.2012		N.11	N.10			2231-D2AP	12,5	2	B		-0,03282374	J	350/45	B				15	-0,332679065					15	-0,031959092			-0,09620096
24 27.1.2012		N.10	N.10			2231-D8BS	12,5	3	220	1060	-0,086596654	J	350	220				15	-0,15262517					15	0,03617945			-0,0147778
25 30.1.2012		N.10	N.8.5			4791-D9ASP	7,5	7	100	1060	-0,117161871	J	1060	100				15	-0,27439861					15	-0,151270674			-0,094326275

	Pv	Kto	Lampolla polton jlk.	Lampolla pakituksen jlk.	Mittalaitte	Laiva/ Ship	Lakanan nro.	Keskiverto pakkaus laualle	KPL	Bulb/ Pakki	Etäisyys stapuoli	K/J	CL-L kautuma/1000mm	Etäisyys ulkopuoli	Bulb/ Pakki	Etäisyys ulkopuoli	Bulb/ Pakki	Etäisyys stapuoli	K/J	L- kautuma/1000mm	K/J	Etäisyys ulkopuoli	Bulb/ Pakki	Etäisyys	K/J	Fore # kautuma/1000mm	Etäisyys	K/J	# kautuma/ 1000mm
26	30.1.2012		N.10	N.8.5			4791.D98S	7,5	8	100	355	J	-0,26560735	J	360	100	100	243	J	-0,197417957	J	243	100	15	J	-0,102037346	15	J	-0,115164448
27	31.2.2012		N.10	N.9			PG45.T1.863	5,6	1	100	344	K	-0,111535701	K	351	100	100	194	J	-0,427118118	J	189	100	15	J/K	-0,118700624	15	K/J	-0,05819512
28	1.2.2012		N.10	N.10			4581.D08BS	5,7	2	100	345	K	-0,048590011	K	348	100	100	245	J	-0,37889828	J	240	100	15	J/K	-0,033012016	15	K/J	-0,14039059
29	2.2.2012		N.10	N.7			5231.D01BS.135	7,8	9	160	353	J	-0,207794607	J	360	160	160	340	J	-0,337736242	J	317	200x20	15	J	-0,127323657	15	J	-0,142161562
30	3.2.2012		N.7	N.7			4871.D7AS	6,5	10				-0,096483705	K	345	100	100	243	K/J	-0,16322445	K/J	245	100	15	K/J	-0,063700354	15	K/J	-0,03546225
31	3.2.2012		N.7	N.7			4871.D7BS	6,5	11	120	600	K	-0,024935169				100	245	K/J	-0,32769256	K/J	243	100	15	K/J	-0,13379008	15	K/J	-0,100593502
32	3.2.2012		N.7	N.8			2331.D3BS	12,1	1	200	1060	J	-0,180771896	J	350	200	200	340	J	-0,23990164	J	320	200x20	15	J	-0,064785721	15	J	-0,03234885
33	4.2.2012		N.8	N.9			7991.D09SP	6,5	12	120	347	K	-0,17585172	K	347	120	120	248	K	-0,282878599	K	240	K				15	K	-0,09890021
34	7.2.2012		N.9	N.9			7991.D09DS	6,5	13	120	347	K	-0,17444464	K	345	120	120	247	J	-0,303582271	J	243	J				15	K/J	-0,064921575
35	7.2.2012		N.9	N.9			4591.D09AS	5,8	3	100	335	K	-0,04870802	J	150x15	100	100	247	K	-0,169803998	K	242	100	15	K/J	-0,129613428	15	K/J	-0,047594117
36	7.2.2012		N.9	N.9			4591.D09BS	5,9	5	100	352	K	-0,145854097	K	362	100	100	243	K	-0,194372904	K	243	100	15	K	-0,08637759	15	K	-0,079772383
37	8.2.2012		N.9	N.9			7991.D010AP	6,6	14	120	345	J	-0,22070423	J	347	120	120	245	J	-0,347774245	J	242	120				15	J	-0,100246029
38	9.2.2012		N.9	N.8			3951.D5AS	8,5		140	347	J	-0,121362905	J	368	140	140	340	J	-0,416380074	J	335	140	15	J	-0,016041322	15	J	-0,044757606
39	10.2.2012		N.9	N.8			7681.D10AS	12		100	?	K	0	0			100	340	K	-0,119663029	K	335	100	15	K	-0,088883622	15	K	0
40	14.2.2012		N.7	N.10			4881.D8AP	7,5		100	345	K	-0,056782693				100	343	J	-0,326066704	J	333	100	15	K/J	-0,132762455	15	K/J	-0,0507228
41	15.2.2012		N.8	N.10			5231.D03AS	12,4		200	1065	J	-0,092502659	K/J	348	200	200	341	J	-0,231733599	J	327	200	15	K/J	-0,128032776	15	K/J	-0,063859844
42	16.2.2012		N.10	N.10			5231.D03BS	12,4		200	1066	K/J	-0,149882904	J	346	200	200	339	J	-0,209263393	J	327	200	15	K/J	-0,097342548	15	K/J	-0,129988301
43	16.2.2012		N.10	N.10			7611.D11AP	7,3		100	356	K	-0,187330232	K	360	100	100	342	K	-0,195767699	K	332	100	15	K	-0,080060846	15	K	-0,056538232
44	16.2.2012		N.10	N.10			7611.D11BSP	8		100	340	K	-0,077156525	K	351	100	100	200	K	-0,244293043	K	194	100	15	K/J	-0,168776371	15	K/J	-0,04365859
45	24.2.2012		N.10	N.10			4391.D09AP	6,5		100	330	K	-0,15032649	K	342	100	100	246	J	-0,33437074	J	240	100	15	K	-0,014860166	15	K/J	-0,150244489
46	27.2.2012		N.10	N.10			4391.D09BSP	6,5		100	343	K/P	-0,09442063	K/P	347	100	100	243	J	-0,307979755	J	240	100	15	J/K	-0,050981392	15	K/J	-0,06522519
47	28.2.2012		N.10	N.9			7621.D12BS	8		100	346	K	-0,157888089	K	347	100	100	200	J	-0,304962573	J	193	100	15	J/K	-0,080209614	15	K/J	0
48	28.2.2012		N.10	N.9			656271.D7AS	6,3		100	354	K	-0,099681021	K	358	100	100	250	K	-0,1579761	K	238	100	15	K	-0,175273459	15	K	-0,104618013
49	29.2.2012		N.10	N.10			4281.D09AS	6,1		100	355	K	-0,178878077	K	358	100	100	247	K	-0,26780172	K	240	100	15	K	-0,064747969	15	K	-0,095748755
50	29.2.2012		N.12	N.12			7781.D10AS	12		100	350	K	-0,07353795	P	1047	100	100	243	K	-0,162170928	K	242	100	15	K	-0,113765643	15	K	-0,024864282

NRO	PV	Lämpötila poltton jalk.	Lämpötila palkituksen jalk.	Laiva/ Ship	Lakanan nro.	Keskianvo paksuus laatalle	Bulbi / Palkki	Etäisyys sisäpuoli	K/J	CL L-kutistuma / 1000mm	K/J	Etäisyys ulkopuoli	Bulbi / Palkki	Etäisyys sisäpuoli	K/J	L-kutistuma / 1000mm	K/J	Etäisyys ulkopuoli	Bulbi / Palkki	Etäisyys	Fore # kutistuma / 1000mm	K/J	# Kutistuma / 1000mm	
20	25.1.2012	N.10	N.10	376	3351-PD5ASP	7	120	350	J	-0,216786668	J	350	120	340	J	-0,300002308	J	320	150x20	J	-0,316538446	15	J	0,206391249
21	25.1.2012	N.10	N.11	376	3351-PD5BS	7	120	345	J	-0,207722667	J	345	120	340	J	-0,267700545	J	320	150x20	J	-0,144602704	15	J	-0,057823523
22	26.1.2012	N.10	N10,5	376	2321-D2AP	8,6	180	350	J	-0,221988901	J	350	160	340	J	-0,330638132	J	340	160	J	-0,050557943	15	J	-0,050527653
25	30.1.2012	N.10	N.8,5	376	4791-D9ASP	7,5	100	1060	J	-0,117161871	J	1060	100	340	J	-0,27439861	J	335	100	J	-0,151270674	15	J	-0,094326275
26	30.1.2012	N.10	N.8,5	376	4791-D9BS	7,5	100	355	J	-0,205850735	J	360	100	243	J	-0,197417957	J	243	100	J	-0,102037346	15	J	-0,115164448
29	2.2.2012	N.10	N.7	376	5221-PD2BS+13S	7,8	160	353	J	-0,207794607	J	360	160	340	J	-0,337736242	J	317	200x20	J	-0,127323657	15	J	-0,142161567
32	3.2.2012	N.7	N.8	376	2331-D3BS	12,1	200	1060	J	-0,180771896	J	350	200	340	J	-0,23990164	J	320	200x20	J	-0,064785721	15	J	-0,03234885
38	9.2.2012	N.9	N.8	376	3951-D5ASP	8,5	140	347	J	-0,121362905	J	368	140	340	J	-0,416389074	J	335	140	J	-0,016041322	15	J	-0,044757606
36	7.2.2012	N.9	N.9	376	4591-PD9BS	5,9	100	352	K	-0,145854097	K	362	100	243	K	-0,194372904	K	243	100	J	-0,08637759	15	K	-0,079772383
43	16.2.2012	N.10	N.10	376	7611-D11AP	7,3	100	356	K	-0,187330232	K	360	100	342	K	-0,195767689	K	332	100	J	-0,080060846	15	K	-0,050538232
48	28.2.2012	N.10	N.9	376	GE4271-D7ASP	6,3	100	354	K	-0,099681021	K	358	100	250	K	-0,1579761	K	238	100	J	-0,175273459	15	K	-0,104618013
49	29.2.2012	N.10	N.10	376	4281-PD8ASP	6,1	100	355	K	-0,178878077	K	358	100	247	K	-0,209780172	K	240	100	J	-0,064747969	15	K	-0,095748755
50	29.2.2012	N.12	N.12	376	77X1-D10ASP	12	100	350	K	-0,07535795	P	1047	100	243	K	-0,162170928	K	242	100	J	-0,113765643	15	K	-0,024864282



Lämpötila	Mittalaite	Laiva	T-Palkki	Latta	Uuma	
23	AYT6193 104201	376	3961-F222BSP-1S	120x10	7	
PV 19.1.2012		Klo 7:55		PV 20.1.2012	Klo 9:52	Kutistumat
Latta ennen hitsausta			9720	Latta hitsauksen jälkeen	9717,5	-2,5
Sivu ennen hitsausta		35mm	9770	Sivu hitsauksen jälkeen	9768	-2
Sivu ennen hitsausta yläreuna		30mm	9765	Sivu hitsauksen jälkeen yläreuna	9766,5	1,5
HUOMIO: Ei pikaistusta ennen mittauksia.						

Lämpötila	Mittalaite	Laiva	T-Palkki	Latta	
33	AYT6193 104201	376	D2BS-F64BS-1S	150x15	
PV 31.1.2012	Klo 7:40		PV	Klo	Kutistumat
Latta hitsauksen jälkeen		9600	Latta hitsauksen jälkeen	9595	-5
Sivu hitsauksen jälkeen	35mm	9730,5	Sivu hitsauksen jälkeen	9726	-4,5
Sivu hitsauksen jälkeen yläreuna	30mm	9829,8	Sivu hitsauksen jälkeen yläreuna	9833,8	4
LISÄTIEDOT:					

Lämpötila	Mittalaite	Laiva	T-Palkki	Latta	Uuma	
36	AYT6193 104201	376	D2BS-L16CS-1S	150x20	9	
PV 31.1.2012	Klo			PV	Klo	Kutistumat
Latta ennen hitsausta			9300	Latta hitsauksen jälkeen	9296,5	-3,5
Sivu ennen hitsausta	35mm		9313	Sivu hitsauksen jälkeen	9310	-3
Sivu ennen hitsausta yläreuna	30mm		9387,5	Sivu hitsauksen jälkeen yläreuna	9389,2	1,7
LISÄTIEDOT:						

Mittauslukokset t-palkeista, joissa 12 mm:n uumalevy

Lämpötila	Mittalaite	Laiva	T-Palkki	Latta/mm	Uuma/mm	
37	AYT6193 104201	376	5233-T90A-Z92A-1P	200x20	12	
PV 13.2.2012		Klo 10:30		PV	Klo	Kutistumat
Latta ennen hitsausta			8268,8	Latta hitsauksen jälkeen	8266,5	-2,3
Sivu ennen hitsausta		35mm	7998	Sivu hitsauksen jälkeen	7997	-1
Sivu ennen hitsausta yläreuna		30mm	7928,2	Sivu hitsauksen jälkeen yläreuna	7926,5	-1,7
LISÄTIEDOT: Gränges						

Lämpötila	Mittalaite	Laiva	T-palkki	Latta/mm	Uuma/mm			
38	AYT6193 104201	376	5233-T90A-Z92A-1S	200x20	12			
PV 13.2.2012			Klo 10:50	PV	Klo	Kutistumat		
Latta ennen hitsausta			8246,2	Latta hitsauksen jälkeen		8244	-2,2	
Sivu ennen hitsausta			35mm	7933,5	Sivu hitsauksen jälkeen		7932	-1,5
Sivu ennen hitsausta yläreuna			30mm	7907,5	Sivu hitsauksen jälkeen yläreuna		7906	-1,5
LISÄTIEDOT: Gränges								

Lämpötila	Mittalaite	Laiva	T-palkki	Latta/mm	Uuma/mm	
39	AYT6193 104201	376	5233-T90D-Z92B-1P	200x20	12	
PV 13.2.2012		Klo 10:00		PV	Klo	Kutistumat
Latta ennen hitsausta			10913	Latta hitsauksen jälkeen	10909,8	-3,2
Sivu ennen hitsausta		35mm	10622,8	Sivu hitsauksen jälkeen	10620,2	-2,6
Sivu ennen hitsausta yläreuna		30mm	10692,5	Sivu hitsauksen jälkeen yläreuna	10689,8	-2,7
LISÄTIEDOT: Gränges						

Lämpötila	Mittalaite	Laiva	T-palkki	Latta/mm	Uuma/mm
	AYT6193 104201	376	5233-T90D-Z92B-1S	200x20	12
PV 13.2.2012	Klo 10:15			PV	Klo
Latta ennen hitsausta			10869,5	Latta hitsauksen jälkeen	10867
Sivu ennen hitsausta	35mm		10668,2	Sivu hitsauksen jälkeen	10665,8
Sivu ennen hitsausta yläreuna	30mm		10563,8	Sivu hitsauksen jälkeen yläreuna	10563,2
LISÄTIEDOT: Gränges					

TYÖOHJE



Ohjenumero	Rev.nro - pvm	Tekijä MTR	Tarkastaja	Hyväksyjä
Ohjeen nimi OHJE KUTISTUMAKERROINMITTAUSTEN SUUNNITTELUUN JA SUORITTAMISEEN RUNKOTUOTANNOSSA				Page 1 (4)

1 VIITTEET

Q.KMY.C.R.720 Mittatarkkuuden hallinta rungon rakentamisessa

2 TAVOITE

Tämän ohjeen mukaisella toiminnalla varmistetaan kutistumamittausprojektin kattava, luotettava ja tehokas suunnitteleminen sekä suorittaminen.

3 SOVELLUSALUE

Tämä ohje koskee STX:n Turun telakan runkotuotannon kutistumakompensaatio-kertoimien määrittämistä.

4 VASTUU

Vastuu ohjeen noudattamisesta on kutistumamittausprojektin suunnittelijalla ja mittausten suorittajalla.

5 MITTAUSTEN SUUNNITTELU

Mittausten suunnittelussa on huomioitava ja päätettävä seuraavat asiat:

5.1 Mittausprojektin kesto:

- määräaikainen vai jatkuva?

5.2 Mittauksen laajuus:

- mitataanko koko valmistusprosessin vai yksittäisen työpisteen / valmistuslinjan kertoimia?
- jos mitataan työpisteen tai valmistuslinjan kertoimia, niin mitä ne ovat?

5.3 Milloin mittauksia suoritetaan?

- päivävuorossa loma-ajan ulkopuolella
- vuorotyössä ja myös loma-aikana

TYÖOHJE



Ohjenumero	Rev.nro - pvm	Tekijä MTR	Tarkastaja	Hyväksyjä
Ohjeen nimi OHJE KUTISTUMAKERROINMITTAUSTEN SUUNNITTELUUN JA SUORITTAMISEEN RUNKOTUOTANNOSSA				Page 2 (4)

5.4 Mitattavat kohteet

5.4.1 Mitattavien kohteiden tarkka etukäteismäärittely tutustumalla valmistusaikatauluihin, koontilistoihin ja työkuviin, joiden pohjalta valitaan sopivat kappaleet kuten esimerkiksi:

- kansipanelit jonka palkit on hitsattu katkohitsauksella tai jatkuvalla hitsauksella
- standardin mukaiset yli 4 m:iä pitkät t-palkit
- laita- ja laapiopanelit, jossa ei ole aukkoja.

5.4.2 Kohteet, jotka rajataan mittausten ulkopuolelle kuten esimerkiksi:

- panelit, joissa palkit on hitsattu katko- ja jatkuvalla hitsauksella
- t-palkit, joiden uumalevyjen korkeus muuttuu
- t-palkit, joissa koristeluja kevennysaukkojen ympärillä
- t-palkit, joiden pituus on alle 4 metriä.

5.5 Mittausväline:

- mitkä ovat mittauksissa käytettävät mittausvälineet ja niiden tarkkuudet?
- mitkä ovat mittausten tarkkuusvaatimukset?
- onko mittavälineet kalibroitu?

5.6 Mittaaja:

- kuka suorittaa mittaukset; telakan työntekijä vai alihankkija?
- kuinka monta mittaajaa tarvitaan?
- tarvitaanko mittaajille opastusta tai koulutusta?

5.7 Mittauspisteet:

- mitataanko samoista pisteistä vielä uudelleen myöhemmissä koontivaiheissa?
- merkkauksien tekeminen mitattaviin kappaleisiin
 - mittauspisteiden vahvistaminen pistepuikolla
 - mittauspisteen ympäröinti tussilla
 - mittauspisteen numeron merkitseminen pisteen viereen
 - kappaleen numeron/nimen kirjoittaminen tussilla
- jos mittauksia tehdään samoista pisteistä vielä maalauksen jälkeen, miten varmistetaan, että löydetään oikea rakenne ja oikeat pisteet?

5.8 Mittausprojektin esittelytilaisuus sidosryhmän jäsenille:

- mittaajat
- työnjohtajat
- osastopäälliköt
- mittausinsinööri
- muut mahdolliset sidosryhmäläiset.

TYÖOHJE



Ohjenumero	Rev.nro - pvm	Tekijä	Tarkastaja	Hyväksyjä
Ohjeen nimi OHJE KUTISTUMAKERROINMITTAUSTEN SUUNNITTELUUN JA SUORITTAMISEEN RUNKOTUOTANNOSSA				Page 3 (4)

- 5.9 Mittausdatan jatkokäsittely:
- Miten datan jatkokäsittely hoidetaan
 - Kuka jatkokäsittelee aineiston
 - Muita huomioita jatkokäsittelystä
 - Kutistumamittausaineiston pohjalta laskettujen kerrointen oikeellisuuksien verifiointi.
- 6 MITATTAVISTA RAKENTEISTA KERÄTTÄVÄT TIEDOT
- 6.1 T-palkeista kerättävät tiedot:
- palkin nimi/numero
 - mittauspäivämäärät
 - mittauslämpötilat
 - uumalevyn paksuus, korkeus ja pituus (pituus uumalevyn ylä- ja alareunasta)
 - laipan paksuus, leveys ja pituus.
- 6.2 Kansipaneleista kerättävät tiedot:
- panelin nimi/numero
 - mittauspäivämäärät
 - mittauslämpötilat
 - panelin pituus, keskeltä ja kummastakin reunasta
 - panelin leveys keulasta ja perästä
 - jäykisteiden korkeus
 - longivälit
 - kansilevyjen keskimääräinen paksuus
 - kansilevyjen paksuudet ja eri paksuuksien suhteelliset osuudet koko pinta-alasta
- 6.3 Laidoista ja laipioista kerättävät tiedot:
- osan nimi/numero
 - mittauspäivämäärät
 - mittauslämpötilat
 - panelin pituus kummastakin reunasta
 - panelin leveys keulasta ja perästä
 - jäykisteiden korkeus
 - jäykistevälit
 - laita-/laipiolevyjen keskimääräinen paksuus
 - laita-/laipiolevyjen paksuudet ja eri paksuuksien suhteelliset osuudet koko pinta-alasta.

TYÖOHJE



Ohjenumero	Rev.nro - pvm	Tekijä MTR	Tarkastaja	Hyväksyjä
Ohjeen nimi OHJE KUTISTUMAKERROINMITTAUSTEN SUUNNITTELUUN JA SUORITTAMISEEN RUNKOTUOTANNOSSA				Page 4 (4)

- 7 MUUT SELVITETTÄVÄT ASIAT
- Tarvitaanko mittaajalle työskentelypistettä?
 - Mitä muuta opastusta / perehdytystä tarvitaan?
- 8 MUUT HUOMIOON OTETTAVAT ASIAT
- Mittauskohteiden aikataulussa tulee aina muutoksia. Tällöin tarvitaan joustavuutta mittaajien ja valmistuslinjojen henkilökunnan suunnalta, jotta onnistutaan mittausten suorittamisissa.